

КАЗАНСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

Ю.П. Переведенцев, М.А. Верещагин,
К.М. Шанталинский, Э.П. Наумов,
Ю.Г. Хабутдинов

ИЗМЕНЕНИЯ КЛИМАТИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ И РЕСУРСОВ СРЕДНЕГО ПОВОЛЖЬЯ

*Учебное пособие
по региональной климатологии*

К а з а н ь
Центр инновационных технологий
2 0 1 1

УДК 551.58
ББК 26.23:26.233:26.236
П27

*Печатается по рекомендации
Редакционно-издательского совета
Казанского (Приволжского) федерального университета*

Научный редактор
канд. геогр. наук, доц. **Э.П. Наумов**

Рецензенты:
докт. геогр. наук, проф. **А.А. Васильев**;
докт. геогр. наук, проф. **М.О. Френкель**

Переведенцев, Ю.П.

П27 Изменения климатических условий и ресурсов Среднего Поволжья: учебное пособие по региональной климатологии / Ю.П. Переведенцев, М.А. Верещагин, К.М. Шанталинский, Э.П. Наумов, Ю.Г. Хабутдинов [и др.]; науч. ред. Э.П. Наумов. — Казань: Центр инновационных технологий, 2011. — 296 с.
ISBN 978-5-93962-485-5

В учебном пособии дано описание основных характеристик климата и его изменений за последние десятилетия (1966—2004 гг.) на территории Среднего Поволжья на фоне современного глобального потепления. Представлен анализ радиационного, температурного, влажностного и ветрового режимов, пространственно-временного распределения осадков и в целом климатических ресурсов. Приведены прикладные климатические характеристики, представляющие интерес для различных отраслей экономики — сельского хозяйства, строительства, энергетики и др., для муниципальных служб, здравоохранения и туризма.

Может быть использовано студентами, обучающимися по направлениям гидрометеорология, география, экология и природопользование, и др.

ISBN 978-5-93962-485-5

© Коллектив авторов, 2011
© Казанский федеральный
университет, 2011
© Центр инновационных технологий
(оформление), 2011

*100-летию
профессора Казанского университета,
климатолога Николая Васильевича Колобова*

Предисловие

Настоящее учебное пособие является одной из серии книг подобного рода публикуемых в последние годы сотрудниками кафедры метеорологии, климатологии и экологии атмосферы в содружестве с сотрудниками Ульяновского и Удмуртского университетов, ВНИИГМИ-МЦД, Татарстанского и Верхне-Волжского УГМС. Ей предшествовала работа по написанию монографий «Климат Казани и его изменения в современный период» (2006), «Климатические условия и ресурсы Республики Татарстан» (2008), «Климатические условия и ресурсы Ульяновской области» (2008), «Климатические условия и ресурсы Республики Удмуртия» (2009), «Современные изменения климатических условий и ресурсов Кировской области» (2010). К этому циклу можно отнести учебные пособия «Теория климата» (2009), «Учение об атмосфере» (2010) и др.

Как известно, метеорология в Казанском университете зародилась с момента его открытия (1804 г.). На Казанский университет были возложены обязанности организации и методического руководства метеорологическими наблюдениями и исследованиями на территории обширного Казанского учебного округа (КУО), включающего в себя 15 губерний Поволжья, Урала, Сибири и Кавказа. Первые метеорологические наблюдения проводили учителя народных училищ и гимназий, которые пересылались в Казанский университет.

Важной вехой в развитии метеорологии и геофизики в университете явилось открытие в нем в январе 1812 г. Метеорологической обсерватории (МО) одной из старейших в России. В преддверии 200-летнего юбилея этого знаменательного события коллектив кафедры усилил свои традиционные исследования в области региональной климатологии с целью современного климатического описания ряда субъектов Российской Федерации и Среднего Поволжья в целом, ранее

входивших в структуру КУО. Это актуально, поскольку анализ проводится на стадии активной фазы современного потепления климата. Начиналось же метеорологическое дело в Казани в так называемый малый ледниковый период (XVII–XIX вв.). История метеорологических исследований, как и сама история климата, нашла свое отражение в многочисленных публикациях многих поколений представителей Казанской метеорологической школы. Выделим здесь лишь фундаментальный труд профессора Н.В. Колобова «Климат Среднего Поволжья» (1968).

Сегодня мы вновь обращаемся к описанию климатических условий и ресурсов территории Среднего Поволжья по обширным материалам более позднего периода 1966–2004 гг., придерживаясь принципов и методических подходов, использованных в вышеупомянутых опубликованных монографиях (2006–2010 гг.).

Как известно, климат, являясь одним из важнейших элементов географической среды, оказывает большое влияние на окружающую природную среду в целом. Территория Среднего Поволжья характеризуется умеренно-континентальным типом климата средних широт с теплым летом и сравнительно холодной и многоснежной зимой. Он сформировался под влиянием взаимодействия ряда факторов, главнейшими из которых являются солнечная радиация, атмосферная циркуляция и характер подстилающей поверхности. Современный период характеризуется неустойчивым характером климата, в частности, на период 1976–2004 гг. приходится активная фаза глобального потепления климата, которая сопровождается значительными природными и социально-экономическими последствиями. Участились природные катаклизмы, в том числе имеющие гидрометеорологическое происхождение, со значительным материальным ущербом (Бедрицкий и др., 2009). Поэтому представляет большой научный и практический интерес изучение динамики климата в целом и его характеристик на обширной территории Среднего Поволжья.

Основные гидрометеорологические материалы для анализа и написания книги были заимствованы из фондов ВНИИГМИ-МЦД, МО КФУ, Интернет ресурсов. Она состоит из 11 глав с многочисленными таблицами и иллюстрациями. В ней представлены история метеорологических наблюдений и исследований в регионе, анализ изменений

климатических условий региона, климатических ресурсов и прикладных характеристик климата, представляющих определенный интерес для различных отраслей экономики, населения Среднего Поволжья, развития туризма и рекреации и т.п.

Авторами разделов являются: предисловие и заключение — Ю.П. Переведенцев; 1 глава — Ю.П. Переведенцев, Р.Х. Салахова, Э.П. Наумов; 2 глава — Ю.П. Переведенцев, К.М. Шанталинский; 3 глава — Г.Р. Сафина; 4 глава — А.А. Николаев; 5 глава — Э.П. Наумов, Ф.В. Гоголь, В.В. Гурьянов; 6 глава — Ю.П. Переведенцев, Б.Г. Шерстюков, Н.В. Исмагилов, А.А. Николаев, Н.А. Важнова; 7 глава — М.А. Верещагин, И.А. Холодов, В.Д. Тудрий; 8 глава — К.М. Шанталинский, Б.Г. Шерстюков; 9 глава — Ю.П. Переведенцев; 10 глава — Ю.Г. Хабутдинов, Б.Г. Шерстюков; 11 глава — Ю.П. Переведенцев, М.В. Исаева, Л.Н. Мунасыпова.

В подготовке и техническом оформлении монографии участвовали сотрудники кафедры и МО — Ю.С. Матросова, В.С. Холодова, Н.А. Важнова, М.М. Шарипова, Н.А. Беляева, О.В. Седых.

1. *Краткая история метеорологии в Среднем Поволжье*

История метеорологических и геофизических наблюдений и исследований климата на территории Поволжья насчитывает два века. К ее описанию не раз обращались сотрудники Казанского университета. Здесь использовались публикации П.Т. Смолякова (1936), В.М. Верхунова (1959), Н.В. Колобова (1956), Ю.П. Переведенцева (2001), Ю.П. Переведенцева и Э.П. Наумова (2002) и др. материалы. Особую роль в освещении деятельности метеорологической обсерватории КГУ сыграла научная конференция, состоявшаяся в Казани в 1962 г., посвященная ее 150-летию (150 лет..., 1963). Как следует из вышеупомянутых исследований, основные этапы становления и развития метеорологии в стенах Казанского университета и в Поволжье таковы.

В 1733–1743 гг. Российской академией наук была организована Великая северная (Вторая Камчатская) экспедиция, возглавляемая В. Берингом, для изучения северных и восточных областей страны. Академиками — участниками этой экспедиции в Казани летом 1733 г. была открыта первая метеорологическая станция (всего их было основано более 20). Ее первыми наблюдателями стали учителя городской гимназии Василий Григорьев (недолго) и Семен Куницын, который вел инструментальные наблюдения за природными явлениями на протяжении 10 лет.

В архивах Академии наук сохранилась копия расписки С. Куницына следующего содержания: «1733 года ноября 28 дня я, нижеподписавшийся здешней Казанской школы учитель, свидетельствую, что я от отправленных в Камчатскую экспедицию профессоров академиков ради продолжения начатых от них здесь метеорологических наблюдений принял один барометр да один термометр с анемоско-

нием и с подлежащим для того письменным наставлением, как сими инструментами оные наблюдения чинить надлежит и как ветры и метеоры познавать надобно, наипаче того обязуюсь я по приказу его графского сиятельства господина губернатора и по данному мне письменному наставлению потребные наблюдения по моей возможности и наиприлежанию чинить, потом в здешнюю губернскую канцелярию ежемесячные рапорты подавать. Во уверение сего подписал svoеручно Симеон Куницын».

Систематические наблюдения с 1744 г. прекратились и вновь возобновились лишь с открытием 5(17) ноября 1804 г. Казанского Императорского университета. Велись они при физическом кабинете университета, начиная с февраля 1805 г., под руководством адъюнкта кафедры физики И.И. Запольского, впоследствии ставшего профессором. Наблюдения здесь велись более тщательно. Совет университета проявлял живой интерес к этой проблеме и неоднократно обсуждал вопрос «о принятии надежных мер для наблюдения метеорологических замечаний». Результаты наблюдений стали публиковаться с августа 1811 г. в газете «Казанские известия».

С 1 (13) января 1812 г. метеорологическая станция получает титул метеорологической обсерватории (МО) и работа ее становится регулярной. Казанская МО по продолжительности непрерывных наблюдений занимает третье место в России (в Санкт-Петербурге регулярные наблюдения начались с 1743 г., в Москве с 1779 г.).

Начало метеорологическим наблюдениям в Симбирске было положено в 1812 году бывшим тогда учителем математики Симбирской гимназии Дмитрием Матвеевичем Перевошиковым (впоследствии экстраординарным академиком Императорской Академии наук). Он, в качестве любителя, проводил метеорологические наблюдения и выписки из них доставлял в Казанский университет (Салахова, 2005).

По инициативе и под научно-методическим руководством Казанского университета была организована сеть метеорологических наблюдений на обширной территории Казанского учебного округа (КУО), охватывающего 15 губерний. К метеорологическим наблюдениям привлекались учителя гимназий и народных училищ.

В 1815 г. проф. Ф.К. Броннером — директором обсерватории с 1810 г. по 1817 г. — была предпринята первая попытка обобщить ма-

териалы наблюдений и сопоставить климатические условия Казани с некоторыми городами Европы. В «Казанских известиях» была напечатана его статья «Следствия из метеорологических наблюдений в Казани 1814 г.» Им же в 1816 г. в статье «Водяной столб, виденной на Волге близ Казани» была изложена, популярная в те годы гипотеза («электрическая») образования и структуры водяных смерчей — редких метеорологических явлений для наших широт (кстати, подобный водяной смерч наблюдался и 10 июля 2008 г., т.е. спустя 192 года). Этим было положено начало метеорологии как науки в Казанском университете.

С приездом в 1824 г. в Казанский университет профессора физики и химии А.Я. Купфера, тесно связанного с выдающимися зарубежными естествоиспытателями того времени А. Гумбольдтом, Д. Араго и К. Гауссом, в Казани начались регулярные геомагнитные наблюдения.

А.Я. Купфер и профессор — астроном И.М. Симонов (участник антарктической экспедиции Беллинсгаузена-Лазарева 1819–1821 гг.) специально ездили в страны Западной Европы с целью приобретения приборов для проведения метеорологических и магнитных наблюдений. Им же была организована экспедиция на Урал с широкой научной программой. Результаты наблюдений над температурой и давлением воздуха с 1828 по 1931 г. были опубликованы Купфером в его книге «Voyage dans l'Oural». При А.Я. Купфере было начато строительство специального здания для метеорологической обсерватории.

В 1828 г. Петербургская академия наук избирает А.Я. Купфера в число своих членов и он переезжает в Петербург, где в 1834 г. создает первую в мире сеть магнитных и метеорологических наблюдений, а в 1849 г. им была основана Главная физическая обсерватория, сыгравшая выдающуюся роль в формировании метеорологической службы и науки России. Академик А.Я. Купфер был одним из организаторов системы наземных наблюдений и на территории современной Чувашской республики в 1852 г. (Карягин, 2007).

После отъезда А.Я. Купфера из Казани руководство МО с 1829 по 1933 г. осуществлял ректор университета знаменитый математик-геометр Н.И. Лобачевский. При нем были организованы наблюдения за температурой почвы в специально вырытом в университетском дворе колодце — обсерватории, глубиной 32 м. Продолжались и наблюдения за земным магнетизмом. Здесь большую роль сыграл проф. И.М. Си-

монов, опубликовавший ряд первоклассных теоретических и экспериментальных работ о природе земного магнетизма. Он же опубликовал в 1825 г. статью «О разности температуры в Южном и Северном полушариях». Возможно, что эта первая работа отечественных ученых на подобную тему.

С 1833 г. исследования в области метеорологии и магнетизма возглавил профессор физики и физической географии Э.А. Кнорр, который пользовался поддержкой А. Гумбольдта. При нем было завершено строительство метеорологической обсерватории. Э.А. Кнорр, осуществляя общее руководство сетью КУО, разработал специальную инструкцию «Наставление учителям Казанского учебного округа для делания метеорологических наблюдений», что способствовало упорядочению и развитию метеорологических и климатических исследований. В «Ученых записках» Казанского университета в 1835 г. им была опубликована статья «Ход температуры в Казани из наблюдений 1833 года», где приводятся также данные о годовом ходе температуры почвы на глубине 1 м. Кнорр всячески пропагандировал пользу метеорологических наблюдений, без которых невозможно предсказать погоду, а это очень важно для мореплавания, садоводства и «вообще для человека, занятого хозяйством».

В 1835 г. на востоке Европейской территории России по инициативе Э.А. Кнорра, с разрешения Академии наук и при поддержке А.Я. Купфера начали открываться первые метеорологические станции. В итоге в 1835 г. в г. Вятка была открыта метеостанция, первым наблюдателем которой был учитель математики А.П. Габоу. Наблюдения велись в 9, 12, 15 и 21 час. за давлением воздуха, температурой по Реомюру, состоянием неба, осадками, по флюгеру определялся ветер. Материалы наблюдений регулярно высылались в Казанский университет и Главную физическую обсерваторию в Петербурге, где с 1860 г. стали регулярно печататься в ее «Записках». Наблюдения имели и имеют большую научную ценность, поскольку метеостанция Вятка была одной из первых на северо-востоке европейской части России. Ее данные широко использовали в своих научных исследованиях академики А.И. Воейков и Г.И. Вильд. По ним академик К.С. Веселовский в 1850 г. написал «Очерк климата Вятской губернии» (Френкель, 1985).

Продолжателем традиций в Казанском университете был профессор физики А.С. Савельев (ученик Э.К. Ленца, выпускник Петербургского университета 1840 г.), возглавлявший кафедру физики и физической географии 1846–1855 г. При нем метеорологические наблюдения проводились пять раз в сутки (7, 9, 12, 15 и 21 час), велись наблюдения в Уфе, Нижнем Новгороде, Симбирске, Саратове, Пензе, Царицыне, Астрахани, Троицке, Перми, Вятке и других городах КУО. В своей работе Савельев получал поддержку от академика А.Я. Купфера. Профессор А.С. Савельев известен в науке как путешественник, географ, исследователь северных районов России. Известны его работы «Остров Колгуев», «Полуостров Канин» (1852 г.) и др. А.С. Савельев был один из крупнейших физиков, удостоившихся Демидовской премии, первым получившим степень доктора физики в России.

В 1855–1876 гг. большую работу по укреплению сети созданных ранее станций проделал воспитанник Н.И. Лобачевского И.А. Больцани, который заведовал кафедрой физики и физической географии. В неоднократных зарубежных поездках он знакомился с постановкой исследований в метеорологических обсерваториях европейских государств. В 1869–70 гг. с помощью построенного им аэростата Больцани проводил измерения давления, температуры и влажности на разных высотах. О своих научных результатах он доложил на Втором съезде русских естествоиспытателей.

Начиная с 1870 г., в Казанском университете и учебном округе наблюдения проводились по инструкции, составленной для всей России директором ГФО академиком Вильдом в 1869 г. Наблюдения проводились три раза в сутки — 7, 13, 21 час в саду, находящемся во дворе университета в новой термометрической будке. Казанская обсерватория, по предложению Вильда, вошла в систему общей сети России и стала ежедневно посылать метеорологические телеграммы в Петербург в Главную физическую обсерваторию. Начиная с июля 1870 г. материалы наблюдений стали печататься в Летописях ГФО.

С метеорологическими наблюдениями в Симбирской губернии связано имя выдающегося ученого, первого климатолога земного шара Александра Ивановича Воейкова. Для истории метеорологических исследований представляют интерес труды ученого, где он приводит данные метеонаблюдений г. Симбирска.

Становление синоптической метеорологии в Казанском университете связано с именем И.Н. Смирнова. В 1870 г. им была опубликована первая крупная монография в России «О предсказании погоды и о весенних бурях в России», в которой имелись первые синоптические карты Русской равнины, вскрывшие особенности Казанской бури в июне 1858 г. В книге рассмотрены вопросы о научном предсказании погоды, структуре воздушных течений, циклонах, природе бурь умеренных широт и т.д. Научные основы предсказания погоды Смирнов искал в циркуляции атмосферы.

И.Н. Смирнов занимался обработкой накопленных метеорологических наблюдений в университете и учебном округе. В обширном труде академика Вильда «О температуре воздуха в Российской империи» (1881 г.) приводятся средние месячные температуры для Казани, вычисленные Смирновым за 1863–1870 годы. И.Н. Смирнов известен в науке и как первый исследователь Курской магнитной аномалии, он провел магнитные съемки в более чем 300 пунктах Европейской России.

В 1876 г. кафедру занял выпускник Московского университета физик Р.А. Колли, который явился одним из инициаторов актинометрических исследований. При Колли на кафедре физики была введена профессура по физической географии (геофизике). Первым специалистом геофизиком был приглашен в 1881 г. ученик известного физика Н.А. Умова, воспитанник Новороссийского (Одесского) университета, Ф.М. Цомакион, по инициативе которого в 80-е годы в МО число наблюдаемых метеовеличин было значительно расширено путем наблюдений за температурой почвы, солнечной радиацией, количеством испаряемой воды. В 1885 г. Казанский университет начал издавать специальные сборники под заглавием «Наблюдения магнито-метеорологической обсерватории Казанского университета». По предложению Академии наук и ГФО Казанский университет принял участие в мероприятиях Международного полярного года с августа 1882 по август 1883 года.

В октябре 1886 г. заведовать кафедрой и МО стал выпускник Петербургского университета Н.П. Слугинов, который много сделал для развития метеорологических и геомагнитных исследований в Казани, создания сети метеорологических станций, строительства в универси-

тете магнитной и метеорологической обсерваторий. При их открытии в 1891 г. Н.П. Слугинов отметил, что подобными обсерваториями не обладает ни один из университетов России.

Под руководством Д.А. Гольдгаммера, возглавлявшего обсерваторию в 1894–1897 гг., (впоследствии ректор университета) было организовано 23 станции в Казанской губернии, начали публиковаться «Труды метеорологической сети Востока России», с 1897 г. издавался «Ежемесячный бюллетень сети Востока России». Начался обмен метеорологическими изданиями с иностранными научно-исследовательскими метеорологическими учреждениями.

Длительный период, с 1897 по 1931 г., обсерваторией Казанского университета руководил профессор В.А. Ульянин — известный физик-магнитолог, основавший кафедру геофизики в 1923 г. (ныне кафедра метеорологии, климатологии и экологии атмосферы на факультете географии и экологии). В.А. Ульянин — выпускник Московского университета, ученик известного русского физика А.Г. Столетова. Он сконструировал электрический магнитометр и занимался разработкой способов определения элементов земного магнетизма. Один из его учеников А.А. Логачев сконструировал аэромагнитометр для съемки с самолета, за это изобретение он был удостоен в 1948 г. Сталинской премии. Профессор В.А. Ульянин занимался также аэрологическими исследованиями с помощью змейковых наблюдений. Уже в июле-октябре 1902 г. он сделал первые удачные подъемы змеев в Казани до высоты 1229 м. При нем был выполнен ряд работ по климатологии края.

В XX веке наиболее заметный вклад в развитие метеорологических и климатологических исследований внесли профессора П.Т. Смоляков, О.А. Дроздов, Н.В. Колобов и их ученики. Следует отметить, что наиболее активно метеорологическая наблюдательская сеть развивалась в стране и в Среднем Поволжье, в частности, в конце 20-х начале 30-х годов XX века, когда были открыты большинство метеорологических станций, многие из которых ведут наблюдения до настоящего времени.

Приведем некоторые сведения из истории метеорологической сети Среднего Поволжья. Долгое время в пределах современной территории республики Татарстан действовала лишь метеорологическая обсерватория КГУ. Лишь в 1843 г. в Елабуге были начаты наблюдения

за температурой воздуха, которые проводились с 1843 по 1850 гг. и с 1864 по 1873 гг. при уездном училище. Метеорологическая станция с более полной программой наблюдений была открыта в феврале 1886 г. при реальном училище (впоследствии — педагогическом техникуме). Станция функционирует до настоящего времени.

За десятилетие, 1891—1900 гг., на территории современной республики было открыто 9 новых метеорологических пунктов, а всего на территории в 1900 г. действовало 14 станций.

Наиболее быстрое развитие метеорологической сети в Поволжье происходило в период с 20-х по 40-е годы прошлого столетия, когда становление новых отраслей народного хозяйства (особенно авиации) требовало более широкого и детального учета метеорологических условий. Так, с 1921 по 1930 гг. в Татарстане было открыто 7, а с 1931 по 1940 гг. — 10 новых метеорологических станций. В 1940—1950 гг. одновременно действовало 30 метеорологических станций, не считая метеорологических постов.

Наряду с открытием новых метеорологических станций, некоторые прежние метеорологические станции, выполнившие свою роль, подлежали закрытию. Всего за период существования метеорологической сети на территории ТАССР с 1812 г. по настоящее время были открыты 44 метеорологические станции (без постов), из них закрыты по разным причинам 26.

В настоящее время в составе УГМС Республики Татарстан функционирует государственная наблюдательная сеть, включающая: 13 метеорологических станций, 5 авиаметеорологических станций, 3 метеорологических поста, 4 агрометеорологических поста, 19 речных гидрологических постов, 12 озерных (на водохранилищах) постов, 9 постов наблюдений за загрязнением атмосферного воздуха, 25 створов наблюдений за загрязнением водных объектов, 7 пунктов наблюдений за кислотностью и химическим составом атмосферных осадков, 17 пунктов измерения мощности гамма-излучения, 3 пункта определения бета-радиоактивности атмосферных выпадений (www.tatarmeteo.ru).

На территории Ульяновской области до 1986 года несли службу 10 метеорологических станций, 19 водомерных, 5 агрометеорологических, 4 дождемерных и 50 ведомственных постов. В настоящее время

Ульяновский областной центр по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды включает 6 метеорологических станций (Салахова, 2005).

Современная метеорологическая сеть Самарской области состоит из 12 метеорологических станций и 21 поста, из которых 3 — метеорологические, 12 — гидрологические, 5 — озерные гидрологические, 1 — агрометеорологический (Климат Самарской области..., 2006).

В Кировский областной ЦГМС входят 80 наблюдательных подразделений: 21 метеостанция, 38 гидропостов, 6 пунктов наблюдений за загрязнением атмосферного воздуха, 13 метеопостов, 2 агрометпоста (Переведенцев и др., 2010).

В Чувашский республиканский ЦГМС входят 5 метеорологических станций (Карягин, 2007).

При подготовке данной монографии использовалась информация 68 метеорологических станций, расположенных на территории семи субъектов Среднего Поволжья, среди которых четыре республики — Татарстан (15 станций), Удмуртия (8), Чувашия (5), Марий Эл (3) и три области — Ульяновская (6), Кировская (20), Самарская (11).

Кафедра метеорологии, климатологии и экологии атмосферы КФУ, в состав которой входит МО, в последние десятилетия XX и в начале XXI столетия главное внимание уделяла изучению особенностей атмосферной циркуляции и энергетических преобразований в тропо-стратосфере, крупномасштабного взаимодействия между слоями атмосферы. Наряду с этим продолжались климатические исследования главным образом регионального характера (дано описание климата Среднего Поволжья, Республики Татарстан, Казани и т.д.), экстремальных климатических явлений. В последние годы большое внимание уделяется изучению современного глобального потепления климата и его региональных проявлений, экологического состояния воздушного бассейна региона (Переведенцев и др., 1999). Результаты исследований опубликованы в многочисленных монографиях и научных статьях сотрудников кафедры и обсерватории, докладывались на многочисленных престижных научных конференциях в том числе на Всемирной конференции по изменению климата (Москва, 2003), на Международной конференции по проблемам гидрометеорологической безопасности (Москва, 2007), на Международной научной конфе-

ренции «Глобальные региональные изменения климата» (Киев, 2010), съездах Русского географического общества (1990–2010).

К числу последних заметных публикаций монографического характера относятся: «Климат Казани» (1990), «Климат и загрязнение атмосферы в Татарстане» (1995), «Современные глобальные и региональные изменения окружающей среды и климата» (1999), «Метеорология в Казанском университете: становление, развитие, основные достижения» (2001), «Теория климата» (2009), «Динамика снежного покрова на территории Татарстана во второй половине XX столетия» (2005), «Современные изменения климата в Среднем Поволжье (на примере Казани и Ульяновска)» (2005), «Основы экологии атмосферы» в 4-х частях (2000–2006 гг.) и др.

Жизненному пути и научным достижениям А.Я. Купфера, П.Т. Смолякова и Н.В. Колобова посвящены очерки, подготовленные Э.П. Наумовым (2002); Ю.П. Переведенцевым (2002); М.А. Верещагиным, (2001).

Материалы по климату Казани и региона в целом, представлены также в первом атласе Республики Татарстан (2005), атласе «Тартарика» (2005), Энциклопедическом словаре РТ (1999), Энциклопедии РТ, (2002–2009) и в монографии «Экология города Казани» (2005), Климат Казани и его изменения в современный период (2006), Климатические условия и ресурсы Республики Татарстан (2008), Климатические условия и ресурсы Ульяновской области (2008), Климатические условия и ресурсы Республики Удмуртия (2009), Современные изменения климатических условий и ресурсов Кировской области (2010).

2. Изменения климата земли в современный период

В настоящее время проблеме формирования и изменений климата уделяется важное внимание. За многие столетия человеческой цивилизации накопились многочисленные исторические свидетельства о непостоянстве климатических условий как на планете в целом, так и в регионах. Данные палеоклиматологии, сравнительно молодой науки (~150 лет существования), позволили восстановить хронологию климатических событий практически на протяжении всей истории Земли и в особенности на ее заключительном этапе — в плейстоцене (в последние 1,6 млн. лет). С началом инструментальных метеорологических измерений, созданием мировой метеорологической сети, а в последние десятилетия и глобальной системы спутниковых наблюдений удалось получить достоверные данные о климатических изменениях за последние 150 лет. Была создана обширная информационная база для проведения климатических исследований.

По своему изначальному определению климат понятие планетарное. Само слово «климат» в переводе с греческого означает наклон, т.е. наклон солнечных лучей к земной поверхности, величина которого определяется широтой места и склонением солнца. От этого первоначального определения климата, безусловно одностороннего, учитывающего лишь астрономические факторы и ведущего начало от древнегреческого астронома Гиппарха из Никеи (190–120 гг. до н.э.) на современном этапе подошли к более универсальному и научно обоснованному: «Климат — это статистический ансамбль состояний, которые проходит система океан — суша — атмосфера за периоды времени в несколько десятилетий» (Монин, 1979).

Идея многостороннего подхода к проблеме климата находит свое подтверждение и в палеоклиматических исследованиях. Так, В.А. Зу-

баков (1990) отмечает, что «история климатов кайнозоя, даже на начальном (современном) этапе ее изучения, подводит нас к общему заключению о том, что изменения климата прошлого невозможно объяснить действием какого-либо одного или нескольких факторов, скажем ростом гор, изменением течений, активизацией вулканизма и повышением в связи с этим концентрации пепла и углекислого газа в атмосфере и тому подобными частными причинами. Изменения климата — это интегральное отражение взаимодействия всех геосфер Земли друг с другом и с космосом».

По мере накопления эмпирических данных об изменениях климата возникла необходимость в их теоретическом объяснении и обобщении, что привело к созданию современного научного направления в климатологии — теории климата. Построены математические климатические модели. Этому обстоятельству в последние десятилетия способствовали: 1) развитие вычислительной техники, 2) построение математических моделей и их «глобализация», 3) развитие «нелинейной» науки и математической физики, 4) развитие системы наблюдений и информационных сетей (Дымников, 2000).

Таким образом, во второй половине XX столетия открылась возможность создания глобальных климатических моделей для изучения и описания климатических процессов в сложной физической системе атмосфера — океан — суша — криосфера — биота. В основе этих моделей лежат математические уравнения динамики сплошной среды и уравнения равновесной термодинамики. В них описываются все энергозначимые физические процессы — перенос излучения в атмосфере, фазовые переходы воды, облака и конвекция, перенос малых газовых примесей и их трансформация, мелкомасштабная турбулентная диффузия тепла и диссипация кинетической энергии и др.

Следует отметить также, что и во Всемирной программе исследований климата (ВПИК), направленной на изучение климата в масштабах времени от нескольких недель до нескольких десятилетий запланировано: 1) дальнейшее развитие понимания закономерностей регионального и глобального климата; 2) разработка и усовершенствование физико-математических моделей климата, способных воспроизводить реальный климат и оценивать его предсказуемость; 3) исследование чувствительности климата к природным и к антропо-

генным воздействиям с целью оценки изменений климата в результате такого рода воздействий (Кондратьев, 1992).

Поскольку климатическая система объединяет атмосферу, океан, сушу, криосферу и биоту в единое целое, то важное внимание уделяется изучению взаимодействия между этими компонентами и в частности, проблеме биотической регуляции окружающей среды. По Горшкову (1995) биота Земли рассматривается как единственный механизм поддержания пригодных для жизни условий физически неустойчивой окружающей среды в локальных и глобальных масштабах. Рассматривается и глобальный круговорот углерода (динамика биогeoхимических циклов).

Существенные изменения в последние 100-150 лет происходят и в земной атмосфере, что в первую очередь относится к ее химическому составу и температуре воздуха. Антропогенные изменения напрямую коснулись воздушного бассейна крупных городов (мегаполисов), где отмечаются как повышенное загрязнение атмосферного воздуха, наносящего вред здоровью людей, так и специфические микроклиматические процессы. Все это — последствия урбанизации. Однако, происходят и глобальные процессы, к числу которых следует отнести современное глобальное потепление климата, происходящее, по мнению многих специалистов, из-за влияния антропогенных факторов. Проблема изучения современных колебаний климата имеет не только большое научное, но и прикладное значение ввиду неизбежных природных и социально-экономических последствий. Так, в Четвертом оценочном докладе МГЭИК (Climate Change, 2007) иллюстрируются последствия глобального потепления, уже проявившиеся или ожидаемые, и сообщается о потенциале адаптации общества для сокращения его уязвимости. Аналогичный «Оценочный доклад» подготовлен Росгидрометом для территории РФ (2008).

Достаточно напомнить, что в 1998 г., когда положительная аномалия среднегодовой глобальной температуры воздуха достигла максимума (0,58°C — отклонение от средней вычисленной за период 1961-1990 гг.) и явление Эль-Ниньо явилось одним из самых сильных, был установлен рекорд экономических потерь от стихийных бедствий, связанных с погодными явлениями — около 90 млрд. долларов США, что почти на 50% перекрыло предыдущий рекорд 1996 г. (Гордон, 2000).

Более того, проблема изменений современного климата стала носить политический характер. Так, в декабре 2009 г. в России была впервые принята на официальном уровне климатическая доктрина, а в Копенгагене состоялась многочисленная конференция ООН по изменению климата с участием глав правительств и государств с целью выработки соглашений о сокращении выбросов парниковых газов в атмосферу в XXI столетии и сохранении климата планеты.

2.1. Состояние вопроса: тенденции и предполагаемые причины изменений современного климата

К числу наиболее важных факторов, оказывающих большое влияние на деятельность человека, сельское хозяйство, транспорт, экономику и окружающую среду в целом относится климат. Поэтому изучению климатических изменений в прошлом, настоящем и будущем в нашей стране и за рубежом уделяется серьезное внимание. Интерес к проблеме обострился во второй половине XX века, когда мировая метеорологическая сеть зафиксировала глобальное потепление климата, теоретически предсказанное ранее российским академиком М.И. Будыко.

Интересно отметить, что еще в начале XX столетия С. Аррениус и В.И. Вернадский высказывали предположение, согласно которому рост концентрации углекислого газа (CO_2) приводит к усилению парникового эффекта в атмосфере и повышению температуры воздуха, что уже отмечалось в истории Земли.

В научных кругах возникла дискуссия о природе обнаруженного феномена. Что это: проявление антропогенного фактора или естественный ход процесса? Под эгидой Всемирной метеорологической организации (ВМО) и Программы ООН по окружающей среде в 1988 г. была создана Межправительственная группа экспертов по изменению климата (МГЭИК – IPCC), которая каждые пять-шесть лет публикует оценочные доклады, которые представляют наиболее профессиональную и взвешенную позицию в области исследований глобальной климатической системы, основанную на результатах всестороннего анализа данных наблюдений и прогнозов будущих изменений. Первый оценочный доклад МГЭИК был опубликован в 1990 г., а в нача-

ле февраля 2007 г. был представлен Четвертый. Этот доклад включает анализ современной климатической изменчивости по данным наблюдений, палеоклиматических реконструкций и результатов численного моделирования нынешних и будущих изменений климата. Материалы доклада позволяют, с одной стороны, ответить на вопрос о причинах этих изменений, а с другой – сделать прогноз на будущее.

Согласно данным доклада (Гулев, Катцов, Соломина, 2008), в течение индустриальной эпохи происходит существенный рост атмосферных концентраций климатически активных газов. Так, в течение последних 250 лет атмосферные концентрации двуокиси углерода (CO_2) возросли с 280 до 379 ppm (миллионные доли на единицу объема). Современная концентрация парниковых газов (ПГ) в атмосфере, как это следует из анализа пузырьков воздуха из ледниковых кернов, сохранивших состав древней атмосферы Антарктиды, намного выше, чем когда-либо за последние 10 тыс. лет. Глобальная атмосферная концентрация метана возросла с 715 до 1774 ppb (миллиардные доли на единицу объема) за период индустриальной эпохи. Наиболее сильный рост концентрации ПГ наблюдается в последние десятилетия. За последние 20 лет рост концентрации CO_2 составил 20 ppm, то есть 20% от увеличения за последние 250 лет. В результате происходит нагрев атмосферы. Выраженное в эквивалентном радиационном притоке тепла воздействие двуокиси углерода составляет 1,66 Вт/м², метана, окислов азота и галокарбонов соответственно 0,48, 0,16 и 0,34 Вт/м². Вклад тропосферного озона составляет 0,35 Вт/м². В то же время за счет аэрозолей, стратосферного озона и изменений поверхностного альбеда происходит охлаждение атмосферы. Их вклад, выраженный в эквивалентном радиационном притоке тепла, составляет около -1,4 Вт/м². Суммарный баланс изменений эквивалентного радиационного притока тепла за счет различных факторов составляет всего 1,6 Вт/м². Отмечено также, что эффект изменения интенсивности солнечной радиации благодаря орбитальным изменениям и другим геологофизическим факторам за последние 250 лет составил 0,12 Вт/м² и не может рассматриваться как существенный фактор наблюдаемых климатических изменений по крайней мере в масштабе столетий.

Благодаря парниковому эффекту средняя глобальная температура воздуха у поверхности Земли повысилась за последнее столетие на

0,74°C, при этом за период с 1979 по 2005 г. ее прирост составил 0,46°C (более 60%). Возрастание температуры происходит неравномерно по поверхности Земли. Максимальный рост приземных температур отмечается в средних и субполярных широтах Северного полушария над континентами, где он достигает величин 1,7 и 2°C в столетие. Тренды в приземной температуре воздуха подтверждаются наблюдаемыми изменениями в температуре тропосферы.

Одновременно наблюдается увеличение влагосодержания атмосферы севернее 30° с.ш., что привело к значимому увеличению осадков. Однако, в тропиках отмечалось уменьшение количества осадков, в широтной зоне 10–30° с.ш. средние величины осадков росли до середины 1950-х годов, но, начиная с 1970-х годов, отмечается их уменьшение. При этом практически повсеместно зафиксирована интенсификация экстремальных величин осадков. Интенсивность осадков 5%-ной обеспеченности возрастает даже там, где средние величины или не обнаруживают тренда, или имеют отрицательный тренд.

Последнее столетие характеризовалось ростом повторяемости экстремальных штормов в океане, тропических циклонов, сильных ветров. Скорость возрастания средних высот значительных ветровых волн в Мировом океане составляла от 8 до 14 см за десятилетие на акватории северной части Атлантического и Тихого океанов за период с начала 1950 до 2002 г. В докладе отмечается увеличение теплосодержания Мирового океана, причем в отдельных районах тренд потепления отмечается на глубинах до 3 км. Из-за недостаточности данных о Мировом океане выводы об изменении его характеристик в целом менее определены, чем для континентов.

Согласно IPCC (Climate Change, 2007), в результате таяния ледников и теплового расширения эвстатическое повышение уровня Мирового океана за 1870–2003 гг. составило более 20 см. В конце XX в. произошло ускорение повышения его уровня. Если в 1961–2003 гг. уровень океана повышался со средней скоростью $1,8 \pm 0,5$ мм/год, то в 1993–2003 гг. интенсивность повышения уровня океана возросла в среднем до $3,1 \pm 0,7$ мм/год. Особенно быстро уровень повышался после 1990 г. Интересно отметить, что рост уровня моря почти точно следовал за повышением температуры воздуха. Установлено, что около половины интенсивности повышения уровня моря в 1993–2003 гг.

(1,6 из 3,1 мм/год) обусловлено тепловым расширением морской воды, а остальная часть — «ледниковым стоком» (Михайлов, 2009).

Происходят заметные изменения в состоянии криосферы. Компоненты криосферы — снежный покров, ледники, вечная мерзлота являются индикаторами климатических колебаний. При сокращении криосферы уменьшается среднее альбедо Земли, что способствует потеплению. Наблюдается отступление и сокращение горных ледников на всем Земном шаре в последние 100–150 лет. Существенные изменения обнаруживаются и в состоянии арктической криосферы. По данным спутниковых наблюдений, с 1978 г. среднегодовая площадь морского льда в Арктике уменьшалась примерно на 2,7% за десятилетие, а площадь льдов в летний сезон — на 7,4 %. Одновременно сокращается и толщина морского льда.

В работе (Фролов, Федяков, Третьяков, 2009) отмечается, что после 1987 г. сокращение средней толщины льда в районе плавания судов к северу от Баренцева моря к полюсу и к северу от моря Лаптевых к полюсу произошло на 42 и 44 см соответственно, или на 23%.

Из-за значительных размеров и труднодоступности точно оценить баланс массы самых больших ледниковых покровов на Земле — Антарктики и Гренландии — сложно. Согласно современным оценкам, их размеры сокращаются. В докладе МГЭИК приводятся данные о балансе массы льда и в целом о процессах, происходящих на рассматриваемых объектах в период 1961–2003 гг. Так, за период 1993–2003 гг. вклад Антарктиды и Гренландии в увеличение уровня океана за счет таяния льда составил около 0,4 мм в год. По оценкам, Антарктида единственный континент, для которого не зафиксировано повышение температур в XX в. Однако, в западной Антарктике температура воздуха за последние десятилетия существенно повысилась.

Как известно, примерно 60% территории России занято зоной вечной мерзлоты. Согласно данным доклада, с 1956 по 1990 г. мощность деятельного слоя в Российской Арктике увеличилась в среднем на 21 см, а максимальная глубина промерзания уменьшилась на 35 см. В целом за последнее столетие максимальная площадь распространения сезонно-мерзлых грунтов в Северном полушарии сократилась на 7%. Площадь распространения снежного покрова, согласно спутниковым данным, в северном полушарии за последние 40 лет уменьшилась на 5%.

Палеоклиматические реконструкции и результаты моделирования свидетельствуют, что дальнейшее увеличение температуры воздуха и сокращение ледников могут привести к существенным последствиям. Около 125 тыс. лет назад, когда летняя температура в Арктике была на 2–5°C выше современной и большая часть ледников в Арктике растаяла, уровень Мирового океана был на 4–6 м выше современного. Данные по годичным кольцам деревьев, кораллам, ледниковым кернам и другим косвенным источникам палеоклиматической информации показывают, что потепление XX в. было наиболее значительным за последние 500 лет, а вероятно, и за период 1300 лет. Современное потепление идет в 10 раз быстрее, чем потепление во время перехода от последнего ледникового к межледниковью 20–10 тыс. лет назад.

В докладе представлены результаты моделирования изменений климата и прогноза на будущее. Для установления причин наблюдаемых изменений климата и прогнозов на будущее был реализован беспрецедентный модельный проект – выполнение численных интегрированных с 23 сложными физико-математическими моделями общей циркуляции атмосферы и океана (МОЦАО). В ходе эксперимента рассчитывался климат XX в. при заданных, в соответствии с наблюдениями, концентрациях парниковых газов и аэрозолей, а также климат XXI в. для трех сценариев антропогенных выбросов парниковых газов и аэрозолей (сравнительно «жесткого», «умеренного» и «мягкого»).

По сравнению с третьим докладом, в четвертом оценочном докладе выводы относительно причин наблюдаемого потепления стали существенно более обоснованными. Вероятность того, что изменения климата за последние 50 лет происходили без внешнего воздействия, оценивается как крайне низкая (<5%). С высокой степенью вероятности (>90%) можно утверждать, что наблюдавшиеся за последние 50 лет изменения вызваны не только естественным, но и внешним воздействием. С вероятностью >90% в Четвертом оценочном докладе утверждается, что рост концентраций антропогенных парниковых газов (ПГ) ответствен за большую часть глобального потепления, начиная с середины XX в. Так, без учета изменений концентраций ПГ невозможно в модели воспроизвести правильно тенденции изменения средней глобальной температуры. Важным выводом Четвертого оценочного доклада стало то, что антропогенное воздействие на климат прояв-

ляется не только глобально, но и на всех обитаемых континентах, и не только в температуре воздуха, но и в характеристиках циркуляции атмосферы и частоте экстремальных явлений. По оценкам, в ближайшие два десятилетия, независимо от сценария выбросов парниковых газов, глобальное потепление продолжится со скоростью около 0,2°C в десятилетие. Сохранение эмиссий ПГ на современном уровне и тем более при их увеличении, с высокой степенью вероятности приведут к дальнейшему потеплению и многочисленным сопутствующим изменениям глобальной системы в течение XXI в., которые будут больше изменений, наблюдавшихся в XX в.

Модельные оценки были выполнены для различных сценариев антропогенного воздействия. На рис. 2.1 приведены изменения средней глобальной температуры при различных сценариях. По отношению к последнему десятилетию XX в., к концу XXI в., в зависимости от сценария, глобальное потепление составит в среднем от 1,8°C до 4,6°C, а повышение уровня моря, соответственно, в среднем от 0,19 до 0,58 м. Температура будет повышаться особенно сильно в Арктике и над континентами. Будущие изменения осадков имеют противоположные тенденции в разных регионах (увеличение осадков в высоких широтах и уменьшение над большей частью суши в субтропиках), что приведет к возрастанию угрозы наводнений в одних районах и учащению засух в других.

Вероятность усиления частоты и интенсивности экстремальных явлений, включая волны тепла, сильные ливни и др., оценивается как очень высокая. В табл. 2.1 даны некоторые оценки достоверности наблюдаемых и будущих трендов в характеристиках интенсивности экстремальных климатических событий, а также их связи с антропогенным фактором. Ожидается увеличение интенсивности тропических циклонов в результате дальнейшего повышения температуры поверхности океана в низких широтах. Ослабление меридиональной циркуляции в Северной Атлантике составит в среднем 25%, при этом продолжится рост температуры воздуха в северо-атлантическом регионе. До конца XXI в. резкие изменения общей циркуляции океана маловероятны. Произойдет смещение путей внутритропических циклонов к высоким широтам. Ожидается сокращение ледяного покрова Мирового океана, причем в некоторых сценариях к концу XXI в. возможно полное освобождение Северного Ледовитого океана ото льда в конце лета.

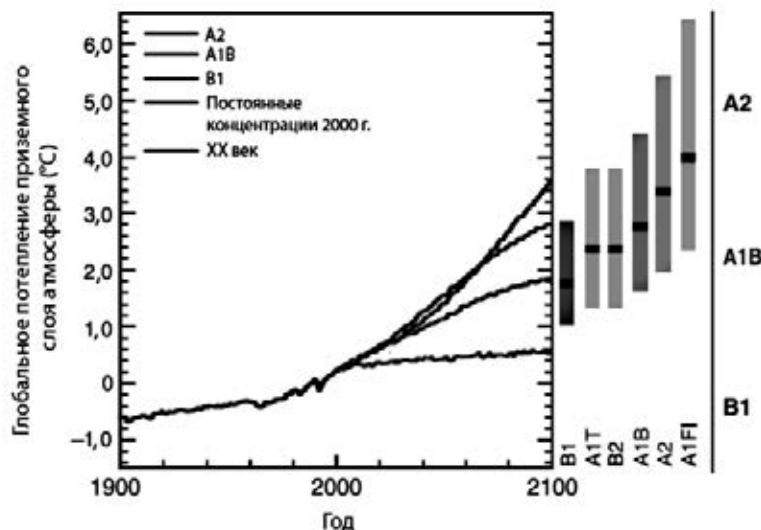


Рис. 2.1. Потепление приземного слоя атмосферы согласно проекциям модели общей циркуляции системы атмосфера – океан

Важно отметить, что МГЭИК производит оценку экологических и социально-экономических последствий изменений климата. Хорошо известно, что вместе с интенсивным ростом средней глобальной температуры воздуха с 90-х годов XX в., усилились и участились естественные катастрофы: засухи, лесные пожары, наводнения, тайфуны и др., что приводит к гибели сотен тысяч людей и значительному экономическому ущербу.

Рабочая группа II МГЭИК подготовила свой доклад по оценке научных знаний, воздействий и социально-экономических аспектов изменения климата (Израэль и др., 2007), согласно которому в конце XX века многие естественные системы оказались затронутыми региональными изменениями климата и в XXI веке ожидается усиление их воздействий на природные и социально-экономические процессы. В частности, увеличение средней глобальной температуры на 4°C может привести к потерям глобального ВВП на 1–5%, поэтому необходимы меры по адаптации и смягчению климатических воздействий, чтобы уменьшить риски.

Таблица 2.1

Оценки вероятности наблюдаемых и будущих трендов в характеристиках интенсивности экстремальных климатических событий, а также их связи с антропогенными факторами

Явление и знак тренда	Вероятность появления тренда в конце XX в.	Вероятность антропогенного вклада в наблюдаемый тренд	Вероятность сохранения знака тренда в XXI в.
Потепление и уменьшение повторяемости холодных дней и ночей над большей частью суши	> 90%	> 66%	> 99%
Потепление и увеличение повторяемости жарких дней и ночей над большей частью суши	> 90%	> 66% (ночи)	> 99%
Тепловые волны, увеличение повторяемости над большей частью суши	> 66%	> 50%	> 90%
Ливневые осадки. Увеличение повторяемости над большей частью суши	> 66%	> 50%	> 90%
Увеличение площади засух	> 66% (во многих регионах, начиная с 1970-х гг.)	> 50%	> 66%
Увеличение активности интенсивных тропических циклонов	> 66% (в некоторых регионах, начиная с 1970-х гг.)	> 50%	> 66%
Учащение экстремальных подъемов уровня моря (исключая цунами)	> 66%	> 50%	> 66%

По базовому сценарию Международного энергетического агентства (МЭА) с 2005 по 2050 г. порождаемая энергетикой эмиссия парниковых газов вырастет от 28 до 62 млрд. т CO₂, при этом температура Земли повысится на 6°C по сравнению с сегодняшним уровнем.

В работе (Израэль, 2008) предлагается комплекс мер для сохранения современного климата: увеличение альбедо планеты; увеличение природного слоя сульфатных аэрозольных частиц в стратосфере; создание в космосе отражателей солнечного света; интенсификация поглощения CO_2 океаном; разведение и восстановление лесов; захоронение CO_2 под землей или в океане.

Отмечается, что увеличение природного слоя сульфатных аэрозолей после вулканических извержений, способно ослабить прямое солнечное излучение (примерно на 1%) и остановить антропогенное потепление климата.

Радиационный форсинг сульфатных аэрозолей (СА) в атмосфере, наряду с парниковым радиационным форсингом, в настоящее время является одной из доминирующих компонент антропогенного воздействия на земную климатическую систему. Эта проблема рассмотрена в (Елисеев, Мохов, Карпенко, 2007). Если глобальный мгновенный (не учитывающий приспособление стратосферы) парниковый форсинг на верхней границе атмосферы составляет $2,3 \text{ Вт/м}^2$, прямой радиационный форсинг антропогенных сульфатных аэрозолей (АС) составляет $-(0,3-0,4) \text{ Вт/м}^2$. При этом происходит заметная компенсация антропогенного форсинга прямым аэрозольным форсингом, что особенно заметно на региональном уровне.

Загрязнение атмосферы сульфатами резко возросло в течение последних примерно полутора столетий с общим ростом эмиссий сульфатов от $\approx 1 \text{ МтS}$ в 1850 г. до $\approx 70 \text{ МтS}$ в 1990-е гг. В связи с этим большинство современных климатических моделей учитывает радиационный эффект сульфатов в численных экспериментах на воспроизведение климата XX в. и оценок будущих климатических изменений. Так, в КМ ИФА РАН при учете как парникового, так и сульфатного воздействия общее потепление климата в модели к концу XXI в. относительно конца XX в. составляет $1,5-2,8 \text{ К}$ в зависимости от сценария. При этом сульфатный аэрозоль замедляет глобальное потепление в разные временные периоды на $0,1-0,4 \text{ К}$ в зависимости от сценария. Наибольшее потепление ($>1,5 \text{ К}$) при этом наблюдается над сушей средних и высоких широт СП в середине XXI столетия при сценарии A2.

Как известно, МГЭИК считает антропогенный фактор главной причиной современного потепления климата (СПК). Однако, соглас-

но (Даценко, Сонечкин, 2008), современные климатические модели не лишены недостатков, поэтому их нельзя считать неоспоримым аргументом в решение вопроса о СПК. Несовершенство этих моделей видно, например, в том, что приостановка роста глобальной и обеих среднеполюшарных температур после максимумов, достигнутых ими в 1998 г., не была предсказана ни одной из моделей. Эта приостановка продолжается 10 лет. Было показано, что масштабно – временная структура ряда индексов, принятых для мониторинга современного климата, таких как ЭНЮК, САК, осадков Сахеля и уровня Каспия, похожа на структуру, уже наблюдавшуюся у этих индексов в 1940–1960-е гг. во время первой, гораздо более длительной, приостановки современного потепления. Полагают, что обе приостановки связаны с циклическими изменениями на Солнце.

Климатические модели XX века смогли воспроизводить ту первую приостановку только задним числом после модификации их радиационных блоков на учет эффектов аэрозоля.

Чтобы прояснить природу СПК используются палеоклиматические аналоги. Современное потепление климата сравнивается со средневековым теплым периодом (СТП), имевшим место примерно 1000 лет назад. В работе (Даценко, Сонечкин, 2008) дается оценка достоверности опубликованных за последнее десятилетие реконструкций 2000-летнего хода среднегодовой, осредненной по СП приземной температуры воздуха. Принципиально различаются две такие реконструкции Манна и Моберга. Реконструкция Манна получила прозвище «хоккейной клюшки», ибо она представляет период времени с XI до XIX века как постепенное похолодание, за которым следует резкое и короткое СПК, что служит косвенным подтверждением его антропогенной природы. По контрасту реконструкция Моберга была прозвана «бумерангом», ибо в ней СТП и СПК примерно одинаково выражены и разделены резким малым ледниковым периодом (МЛП) XVI–XVII веков.

Анализ энергетических спектров этих реконструкций показал, что реконструкция Манна сильно занижает низкочастотные колебания температуры, а реконструкция Моберга воспроизводит их гораздо лучше и являются наиболее пригодной для целей атрибуции СПК к естественным или антропогенным факторам.

На прогнозы хода температуры в XXI–XXII столетиях влияет неопределенность в оценке изменения радиационного воздействия в XX столетии, связанная с неопределенностью воздействия сульфатного аэрозоля, оценки которого изменяются от 0 до -2 Вт/м^2 . Поэтому неправильная чувствительность модели к изменению концентрации парниковых газов может быть скомпенсирована неправильным изменением радиационного форсинга от сульфатного аэрозоля, и в результате воспроизведение потепления в XX столетии окажется правильным. В XXI столетии, согласно рассмотренным сценариям, концентрация ПГ будет возрастать, в то время как концентрация сульфатного аэрозоля будет возрастать только в начале XXI столетия, а затем уменьшится. Поэтому не исключено, что модель, правильно воспроизводящая потепление в XX столетии, может занижать или завышать потепление в XXI–XXII столетиях.

В общем, к климатическим изменениям относят как высокоамплитудные климатические сдвиги прошлых тысячелетий, так и низкоамплитудные флуктуации с меньшим периодом. Некоторые спектральные пики изменчивости непосредственно связаны с механизмами воздействия, другие совсем не связаны. Внутренние процессы климатической системы также могут приводить к появлению спектральных пиков, непосредственно не связанных с временной изменчивостью воздействия. Следовательно, как заключает автор (Дийкстра, 2007), даже в случае постоянного по времени внешнего воздействия, т.е. когда не происходят систематические изменения инсоляции или состава атмосферы (газовые примеси, аэрозоль), для КС будет характерна изменчивость на разных масштабах времени. Именно взаимодействие сложной внутренней изменчивости с относительно слабыми вариациями внешнего воздействия, зависящего от времени, регистрируется с помощью опосредованных и инструментальных измерений.

Рассмотрим ряд работ, в которых представлена точка зрения на генезис современного потепления климата. Так, в работе (Дзюба, Панин, 2007) представлен физический механизм формирования тенденций глобальных климатических изменений как отклик на композицию парникового и ротационного эффектов (неравномерность угловой скорости вращения Земли), то есть учитывается малое вне-

шнее воздействие. Согласно этой работе, в первой половине XXI века (примерно с 2010 по 2045 г.) ротационный фактор будет компенсировать парниковый эффект. Поэтому повышение температуры воздуха к середине 2040-х годов составит около $0,7^\circ\text{C}$ ($-0,3^\circ\text{C}$ – ротационная составляющая, $1,0^\circ\text{C}$ – парниковая составляющая). В течение следующих примерно 35 лет (с 2045 г. до начала 2080-х годов) возмущающее воздействие обоих факторов будет однонаправленным. В результате глобальная приземная температура увеличится примерно на $1,1^\circ\text{C}$ ($0,3^\circ\text{C}$ – ротационная составляющая, $0,8^\circ\text{C}$ – парниковая составляющая). Суммарное повышение глобально осредненной приземной температуры составит к 2080-м годам примерно $2,1^\circ\text{C}$. При этом будет наблюдаться увеличение аномальности и экстремальности климата. В следующие более чем три десятилетия повышение температуры воздуха вследствие увеличения содержания ПГ в атмосфере снова замедлится.

Б.Г. Шерстюков (2008) разработал статистическую модель климата, согласно которой в изменениях климата СП до 2025 г. прогнозируется положительный тренд, но ожидается некоторое замедление скорости увеличения температуры. На этот положительный тренд будут накладываться 4–6 летние возмущения. Проведенный им комплексный анализ показал, что основными составляющими физического механизма формирования пространственных и сезонных особенностей современных изменений климата являются следующие:

- парниковый эффект и его зависимость от естественных сезонно-широтных условий формирования радиационного баланса;
- пространственные и сезонные неоднородности изменения количества облачности за последние десятилетия;
- ослабление демпфирующего влияния океанов на состояние континентальной атмосферы;
- естественные колебательные процессы в климатической системе, сопровождающиеся изменением общей циркуляции атмосферы и изменением региональной адвекции.

По мнению Б.Г. Шерстюкова (2008), современное стремительное потепление глобального климата стало результатом одновременного усиления парникового эффекта, связанного с накоплением CO_2 и увеличением количества облачности, а также с ослаблением демпфи-

рующего действия океана. К числу внешних воздействий он относит изменение скорости осевого вращения Земли, солнечную активность, возмущения орбитальных характеристик Земли.

В.В. Клименко (1997), используя спектральный анализ температуры СП за период 10925 лет до н.э. – 1750 г. н.э. выделил гармоники продолжительностью ~ 2400, 1100, 850, 640 и 500 лет, которые имеют солнечное происхождение.

Кривая хода температуры естественного климата к началу XX в. достигает своего исторического минимума самого глубокого за последние 5 тыс. лет, и это означает, что потепление XX столетия обусловлено в значительной мере короткопериодными, в первую очередь антропогенными факторами и осуществляется на фоне явной тысячелетней тенденции естественного климата к похолоданию. Снижение температуры за счет влияния тысячелетних циклов составило более 1°C в течение последней тысячи лет, что вдвое превышает достигнутое в XX столетии повышение температуры.

Роль тысячелетних циклов в современной динамике климата является чрезвычайно важной и должна учитываться при построении прогнозов будущих климатических изменений.

В работе (Кислов и др., 2008) дается анализ проблемы генезиса глобального потепления XX и XXI веков с привлечением палеоданных последнего межледникового (в основном голоцена). Отмечается, что важной особенностью климата криохрона явилась нестабильность климатических условий в Северной Атлантике, где холодный режим неоднократно прерывался резкими потеплениями. Это так называемые события Дансгора-Оешгера (DO), которых на протяжении последних 60 тыс. лет диагностировано 17. События DO (циклы, включающие в себя стадии потепления и похолодания) происходили вследствие нарушения термохалинной циркуляции Атлантического океана. Циклы DO происходили со средним периодом 1–1,2 тыс. лет.

А.В. Кисловым дается анализ принятой антропогенной концепции глобального потепления с учетом природных факторов. Колебания климата происходили и раньше, климатическая значимость ряда явлений еще не раскрыта. Современные климатические модели не во всем адекватно отражают процессы, происходящие в реальности: «Самое главное то, что остается неясным вопрос о степени воспроиз-

водимости в моделях обратных связей, их зависимости от состояния глобального климата».

В работе (Найденков, Швейкина, 2005) высказана мысль, что климатом управляет вода. На примере России, занимающей существенную часть Евразийского континента, это выглядит так. Увлажнение территории России привело к уменьшению амплитуды температурных колебаний практически во всех ее регионах, снижению потерь тепла на испарение и прогрессирующему уменьшению альбедо, что в сочетании с неустойчивостью водного баланса обусловило возникновению трендов влагозапасов и температуры.

Таким образом, по мнению авторов, источником глобального потепления и неустойчивости климата являются обширные территории суши, причем сравнительно большой тренд потепления в СП по сравнению с ЮП объясняется значительно большей поверхностью суши в этом полушарии. В целом эффекты потепления в умеренных широтах значительнее, чем в тропиках, так как влияние амплитуды годовых колебаний температуры на испарение более существенно в этих широтах.

В.И. Найденковым (2001) предложена следующая математическая модель глобального климата Земли, содержащая три переменные: температуру приземного слоя атмосферы, влагозапас суши и речной сток в Мировой океан. Эта модель состоит из трех нелинейных уравнений: двух уравнений динамики теплового и водного балансов Земли и уравнения динамики глобального речного стока в Мировой океан.

$$\begin{aligned} c \frac{dT}{dt} &= \frac{Q}{4} [1 - \alpha(T, X)] - I(T), \\ \frac{dX}{dt} &= P(T) - E(T, X) - Y, \\ \frac{dY}{dt} &= G(X) - \frac{Y}{k(x)}, \end{aligned}$$

где T , X , Y – соответственно глобальная температура воздуха, влагозапас континентов и речной сток в океан; Q , $I(T)$ и $\alpha(T, X)$ – солнечная постоянная, количество уходящей тепловой радиации с верхней границы атмосферы и планетарное альбедо Земли, c – теплоемкость системы «атмосфера – деятельный слой подстилающей поверхности»;

$P(T)$, $E(T, X)$ — осадки и величина испарения с поверхности континентов; $G(X)$, $\kappa(X)$ — соответственно эффективное ускорение силы тяжести и характерное время релаксации речного стока. Было использовано предположение о постоянстве количества воды на Земле, что позволило исключить водный баланс океана.

По мнению автора модели, глобальное потепление климата является следствием естественных нелинейных природных процессов и физический механизм колебаний климата можно объяснить следующим образом. Увлажнение суши ведет к уменьшению глобального альбедо и росту среднегодовой температуры атмосферы за счет большего поглощения солнечного излучения. Расчеты доказали, что потепление климата на 1°C увеличивает количество атмосферных осадков на 1,6–2,6% (2–3 см/год), причем связь изменения средней температуры и среднего количества осадков нелинейна. Возникает мощная положительная зависимость: рост увлажненности материков сопровождается уменьшением планетарного альбедо Земли, что увеличивает температуру воздуха и испарение с поверхности океана — основной источник влаги суши. Указанный механизм ведет к росту и дальнейшей увлажненности материков. Но рост влагозапаса суши ограничен: избыток влаги переводится в речной сток. Далее процесс идет в обратном направлении: начинается глобальное похолодание климата. Материки больше отражают солнечную энергию, температура атмосферы и осадки уменьшаются, на планете наступает холодная и сухая эпоха с более заметным контрастом между экваториальной и полярной температурами. Но уменьшившееся количество осадков начинает задерживаться сушей, что в итоге приводит к новой смене климата. Он становится мягким с относительно небольшой разницей температур на экваторе и полюсах. Далее цикл повторяется. Видимо, именно этот нелинейный механизм не дает климатической системе перейти к состоянию «белой Земли», когда ее поверхность целиком покрыта льдом и снегом.

Существуют нелинейные механизмы, способствующие процессу потепления климата. Так, рост концентрации водяного пара и диоксида углерода в атмосфере способствует поглощению длинноволнового излучения поверхностью Земли и ее разогреву. И еще один механизм: потепление климата ведет к сокращению площади снежного

и ледникового покрова поверхности Земли (увеличение температуры на 1°C уменьшает площадь снега и льда на 3 млн. км²). Перечисленные механизмы могут действовать совместно, чем и объясняется резкость смены потеплений и похолоданий.

2.2. Глобальные и региональные изменения климата в XIX–XXI столетиях

Проблема глобальных и региональных изменений окружающей среды и климата стала в настоящее время как никогда актуальной в связи с усиливающимся влиянием антропогенных факторов, в том числе с продолжающимся ростом концентрации CO_2 и других парниковых газов в атмосфере. По современным представлениям климат отражает физическое, химическое и биологическое состояние компонентов земной климатической системы (атмосферы, океана, суши, криосферы, биоты) и поэтому для понимания его изменчивости необходима оценка динамики их параметров. По существу понятие климатической системы становится сейчас адекватным понятию окружающей природной среды. Поэтому те глобальные и региональные изменения, главным образом антропогенного характера, которые в последние годы происходят в окружающей среде, несомненно, должны найти отклик и в состоянии климата.

Следует отметить, что климатические исследования в Казанском университете ведутся почти 200 лет с момента открытия при нем Метеорологической обсерватории в январе 1812 г., что нашло свое отражение в многочисленных научных публикациях и в выступлениях на конференциях (Переведенцев, 2001). Безусловно, современные возможности исследователей значительно возросли из-за достижений в области информационных и вычислительных технологий, что позволяет анализировать крупномасштабные и даже глобальные процессы.

Вместе с тем как эмпирические, так и модельные данные свидетельствуют о неравномерности изменения основных климатических показателей по территории Земного шара, что стимулирует интерес и к региональным исследованиям. Для метеорологов и климатологов Казанского университета на протяжении многих лет таким приоритетом

был регион Среднего Поволжья. К числу первых монографий этого направления следует отнести труд Н.В. Колобова «Климат Среднего Поволжья» (1968 г.). В последний период сотрудниками кафедры метеорологии, климатологии и экологии атмосферы в содружестве с научными работниками ВНИИГМИ-МЦД, Кировского ЦГМС, Удмуртского и Ульяновского университетов был подготовлен и опубликован ряд книг по климатическим условиям и ресурсам субъектов РФ, территориально входящих в Приволжский федеральный округ (ПФО).

В качестве исходных материалов нами использовались данные приземной температуры воздуха по всему Земному шару (1850–2008 гг.) университета Восточной Англии, а также данные NCEP/NCAR реанализа температуры воздуха, общего количества облачности, давления приведенного к уровню моря, зональной и меридиональной составляющих скорости ветра в тропо-стратосфере Северного полушария за последние 60 лет (1948–2009 гг.).

Система реанализа NCEP/NCAR включает трехмерную схему спектральной статистической интерполяции данных. Эта схема ассимилирует данные радиозондирования о температуре, ветре, влажности, спутниковые данные о ветре и температуре, данные об облачности с геостационарных спутников, наблюдения наземных станций, судовые данные и данные морских буев. Для проведения четырехмерного объективного анализа система реанализа NCEP/NCAR использует глобальную спектральную модель с 28 вертикальными σ -уровнями и горизонтальным треугольным усечением по 62 спектральным гармоникам, что эквивалентно примерно 210 км.

Результатом работы системы реанализа NCEP/NCAR являются трехмерные глобальные поля метеорологических величин с горизонтальным разрешением $2,5 \times 2,5^\circ$ в сферической системе координат на 9 вертикальных уровнях (Дегтярев, 2008).

Кроме того, использовались средние месячные значения температуры и количества осадков в период 1955–2004 гг. для 117 метеорологических станций расположенных на территории Кировской, Ульяновской, Самарской областей, Республик — Татарстан, Удмуртия, Марий-Эл, Чувашия и сопредельных территорий.

Рассмотрим вначале временной ход средней глобальной и осредненных по полушариям температур за весь период инструментальных

наблюдений с учетом только что завершившегося 2009 г., что не нашло еще своего отражения в публикациях. Кроме того, дан пространственно-временной анализ метеорологических полей за последние 60 лет от уровня Земли до 30 км и, после применения низкочастотной фильтрации, изучена долгопериодная динамика метеорологических величин.

Как видно из рис. 2.2, наблюдаются различия в изменениях климата Северного (СП) и Южного (ЮП) полушарий. Так, средняя годовая температура воздуха, осредненная по всему СП, достигла своего максимума на отрезке времени 1850–2009 гг. в 2005 г. ($15,21^\circ\text{C}$), а затем понизилась к 2008 г. до $15,07^\circ\text{C}$. В ЮП максимальная температура зафиксирована в 1998 г. ($14,05^\circ\text{C}$) в период наиболее интенсивного явления Эль-Ниньо и далее началось ее плавное снижение, согласно сглаживающей кривой до $13,77^\circ\text{C}$ в 2008 г. Таким образом, в ЮП в последние 10 лет нет повышения среднегодовой полушарной температуры. Среднезимняя температура (декабрь – февраль) в СП ведет себя аналогично среднегодовой. По своему значению она заметно уступает среднезимней температуре океанического ЮП. Ее максимум в СП отмечен в 2006 г. ($9,27^\circ\text{C}$), в ЮП он соответственно равен $11,78^\circ\text{C}$ и зафиксирован в 1998 г. Далее происходит уже отмеченное понижение температуры южного полушария на протяжении последних 10 лет.

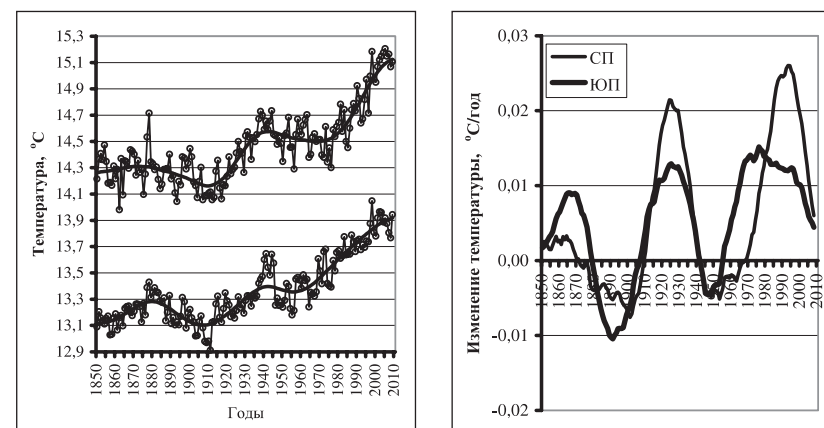


Рис. 2.2. Многолетний ход средней годовой приземной температуры воздуха северного (вверху) и южного (внизу) полушарий и динамика интенсивности изменения долгопериодной компоненты (30 лет и более) температуры (справа)

Осредненные по полушариям температуры за летний период (июнь – август) ведут себя следующим образом. В СП максимум в 21,14°C отмечен в 1998 г. (в 2008 г. 20,98°); в ЮП максимум также отмечен в 1998 г. (16,68°, а в 2008 г. 16,22°C), то есть северное полушарие, где больше суши, летом прогревается более значительно, чем океаническое южное, где большую охлаждающую роль играет ледниковая Антарктида.

Построены линейные тренды осредненной по полушариям среднегодовой температуры для двух периодов – столетнего (1909–2009 гг.) и для фазы наиболее активного потепления (1975–2009 гг.) Для первого случая:

$$\begin{array}{ll} \text{в СП} & \text{в ЮП} \\ y = 0.0076x + 14.19, R^2 = 65.2\% & y = 0.0075x + 13.09, R^2 = 76.4\% \end{array}$$

Видно, что скорости потепления в обоих полушариях практически одинаковы (0,75°C/100 лет), а высокие значения коэффициентов детерминации R^2 свидетельствуют о значительном вкладе коэффициента наклона линейного тренда в общую дисперсию ряда.

В новейший период 1975–2009 гг. уравнения линейного тренда температуры выглядят так:

$$\begin{array}{ll} \text{в СП} & \text{в ЮП} \\ y = 0.022x + 14.43, R^2 = 80.2\% & y = 0.012x + 13.52, R^2 = 68.4\% \end{array}$$

Таким образом, в последние десятилетия потепление в СП было практически в 2 раза более интенсивным, чем в ЮП, при этом процесс замедления потепления в ЮП начался на 7 лет раньше, чем в СП.

Авторами (Переведенцев, Шанталинский, 2008) дан анализ региональных особенностей климатических изменений в полях температуры, облачности и компонент скорости ветра северного полушария за последние десятилетия, в зависимости от широты, типа подстилающей поверхности и времени года.

На всем полушарии и в трех широтных зонах (приполярной – от полюса до 65° широты; умеренной – от 65° до 30° широты и тропической – от 30° широты до экватора), каждая из которых характеризуется особым термическим и циркуляционным режимом, были выделены регионы по типу подстилающей поверхности (суша или океан). Кроме

того, и полушарие и каждая широтная зона (за исключением приполярной) дополнительно были поделены на более мелкие регионы по принадлежности к конкретному материку (Америка, Евразия, Африка) или океану (Атлантический, Тихий, Индийский). Таким образом, всего на полушарии были выделены 27 регионов, по каждому из которых было произведено осреднение исследуемых метеорологических величин.

Динамика долгопериодных изменений в полях метеорологических величин выявлялась методом цифровой фильтрации, для чего использовался низкочастотный (НЧ) фильтр Поттера с точкой отсечения 10 лет, т.е. из исходного временного ряда отфильтровывались все колебания с периодом менее 10 лет. Использование указанного метода фильтрации связано с тем, что фильтр Поттера не дает существенных искажений фазы колебаний в сглаженном ряду по сравнению с исходным. Кроме того, результат фильтрации близок к результатам, получаемым с помощью широко используемого в климатологии сглаживания временных рядов скользящим осреднением (в данном случае 11-летним), но лучше по качеству фильтрации (рис. 2.3).

Коэффициент линейной корреляции между низкочастотными компонентами временных рядов на полушарии в выделенных регионах и узлах поля исследуемой метеорологической величины использовался для оценки степени сходства динамики климатических изменений в отдельных частях полушария и на полушарии в целом.

Кроме того, степень близости полей характеризовались с помощью показателя аналогичности

$$\xi = \frac{\sum_{i=1}^n x_i y_i}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i)^2 \sum_{i=1}^n (y_i)^2}} + \frac{\sum_{i=1}^n (x_i)^2}{\sum_{i=1}^n (x_i - y_i)^2}$$

Показатель ξ может принимать значения в интервале от -1 до 2. При $\xi = 2$ имеет место полная аналогия рассматриваемых полей, при $\xi = -1$ – полная контр аналогия.

Для оценки вклада выявленных долгопериодных колебаний исследуемых величин в каждом узле в общую дисперсию использовалась процедура интегрирования соответствующего участка спектра.

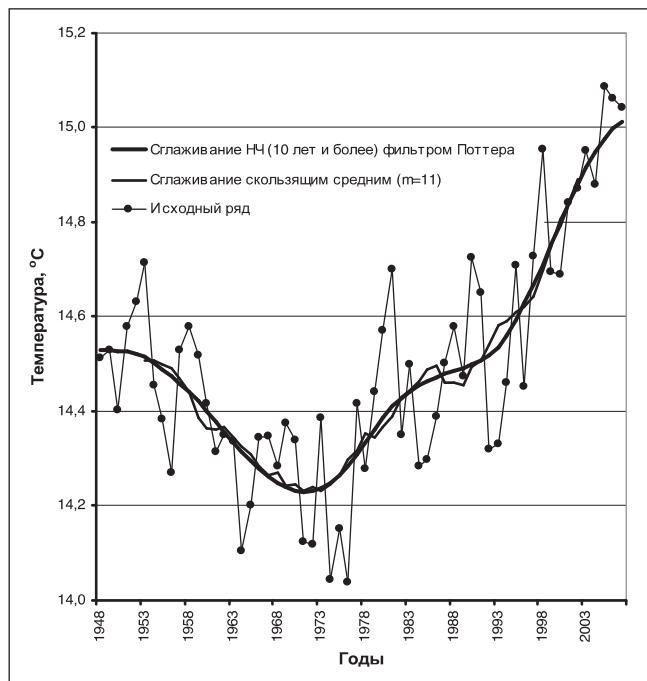


Рис. 2.3. Многолетний ход средней годовой приземной температуры воздуха северного полушария ($^{\circ}\text{C}$), сглаженный 11-летним скользящим осреднением и НЧ фильтром Поттера (полоса пропускания 10 лет и более)

Рассмотрим особенности изменения приземной температуры воздуха за период с 1850 по 2009 гг. (данные университета Восточной Англии) и более детально с 1948 по 2009 гг. (данные NCEP/NCAR реанализа).

Большинство исследователей в основном аппроксимируют изменение температуры на тех или иных временных участках линейным трендом, оценивая таким образом интегральный эффект изменения температуры на исследуемом отрезке времени. Анализ сглаженных НЧ фильтром Поттера рядов показывает, что за последние более чем 150 лет инструментальных наблюдений при общем весьма существенном, но достаточно неравномерном росте средней годовой температуры северного полушария имели место и периоды ее понижения (рис. 2.4).

Первое похолодание за указанный период наблюдалось с 1877 по 1911 гг. и составило $0,23^{\circ}\text{C}$ за 34 года; второе — с 1940 по 1972 гг. и составило $0,17^{\circ}\text{C}$ за 32 года. После похолоданий следовали более интенсивные потепления. Первое имело место с 1911 по 1940 гг. в результате среднегодовая температура северного полушария возросла на $0,51^{\circ}\text{C}$ за 29 лет; второе — с 1972 по 2009 гг. и, судя по ходу кривой интенсивности потепления, еще не завершилось, хотя интенсивность его упала почти до нуля. Тем не менее, оно продолжается уже 37 лет, а величина повышения температуры за этот период составила $0,68^{\circ}\text{C}$.

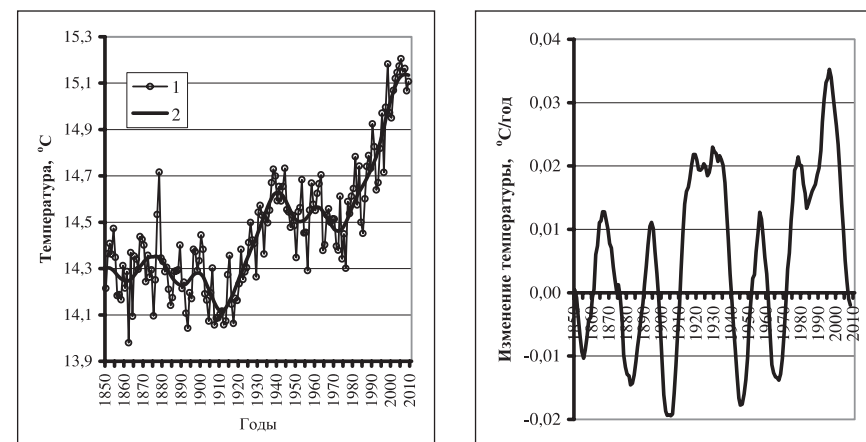


Рис. 2.4. Многолетний ход средней годовой приземной температуры воздуха северного полушария ($^{\circ}\text{C}$) (1), сглаженный НЧ фильтром Поттера (полоса пропускания 10 лет и более) (2) и интенсивности ее изменения ($^{\circ}\text{C}/\text{год}$)

Обращает на себя внимание факт уменьшения со временем интенсивности похолоданий с $-0,07$ до $-0,05^{\circ}\text{C}/10$ лет и увеличения интенсивности потеплений с $0,18$ до $0,20^{\circ}\text{C}/10$ лет. Отчетливо проявляется в ходе средней годовой приземной температуры воздуха северного полушария 60–70-летнее колебание, которое уже упоминалось выше, а также более слабое 20-летнее наиболее активно проявляющее себя в периоды похолоданий.

Вполне вероятно, что наряду с естественными причинами изменения температуры имеет место и антропогенное влияние. Таким обра-

В табл. 2.2 приведены характеристики изменения температуры воздуха в различных регионах северного полушария по данным реанализа. Поскольку похолодание началось несколько ранее имеющихся данных реанализа и, как уже указывалось, в период похолодания наблюдаются колебания более короткого периода, то характеристики похолодания в табл. 2.2 несколько отличаются от полученных по данным университета Восточной Англии.

В умеренной зоне интенсивности последнего потепления климата и предшествующего ему похолодания весьма близки и составляют $+0,21$ и $-0,27^{\circ}\text{C}/10$ лет соответственно. В результате за последние 36 лет температура повысилась на $0,76^{\circ}\text{C}$, что почти в три раза меньше чем в приполярной зоне. Наименьшие изменения средней годовой приземной температуры воздуха наблюдаются в тропической зоне, где за последние 38 лет температура повысилась на $0,52^{\circ}\text{C}$.

Обращает на себя внимание также резкое ослабление роста приземной температуры воздуха в период с 1983 по 1994 гг., которое прослеживается практически во всех регионах полушария. Оно вызвано, в частности, уменьшением прозрачности атмосферы в связи с поступлением в атмосферу большого количества продуктов извержений вулканов Эль-Чичон и Пинатубо. В результате уменьшение роста температуры отмечается во всей тропосфере, а в стратосфере вследствие поглощения солнечной радиации продуктами извержения имеет место значительный рост температуры.

В зимний сезон (декабрь – февраль) величина потепления существенно больше, чем в летний (июнь – август) за исключением тропической зоны, где, впрочем, период потепления летом начался намного раньше. Интенсивность же потепления больше в зимний сезон во всех регионах (табл. 2.3).

**Характеристики современного потепления и предшествующего ему похолодания
в различных регионах северного полушария**

[illegible]

Регион	Похолодание					Потепление				
	Начало	Концеп	Продолжи- тельность, годы	Величина, °C	Интен- сивность, °C/10 лет	Начало	Концеп	Продолжи- тельность, годы	Величина, °C	Интен- сивность, °C/10 лет
Полушарие – океан	1953	1970	17	-0,12	-0,07	1970	2009	39	0,70	0,18
Атлантический	1952	1972	20	-0,24	-0,12	1972	2009	37	0,68	0,18
Тихий	1959	1972	13	-0,12	-0,09	1972	2009	37	0,42	0,11
Индийский	1948	1956	8	-0,04	-0,05	1956	2009	53	0,78	0,15
УЗ – океан	1948	1974	26	-0,40	-0,15	1974	2009	35	0,57	0,16
УЗ – Атлантический	1951	1972	21	-0,45	-0,21	1972	2007	35	0,76	0,22
УЗ – Тихий	1948	1977	29	-0,39	-0,13	1977	2009	32	0,44	0,14
ТЗ – океан	1961	1971	10	-0,03	-0,03	1971	2009	38	0,49	0,13
ТЗ – Атлантический	1960	1972	12	-0,05	-0,04	1972	2009	37	0,58	0,16
ТЗ – Тихий	1960	1971	11	-0,08	-0,07	1971	2009	38	0,44	0,12
ТЗ – Индийский	1948	1956	8	-0,04	-0,05	1956	2009	53	0,78	0,15

Таблица 2.3

Характеристики современного потепления и предшествующего ему похолодания
в некоторых регионах северного полушария зимой и летом

Регион	Похолодание					Потепление				
	Начало	Концеп	Продолжи- тельность, годы	Величина, °C	Интен- сивность, °C/10 лет	Начало	Концеп	Продолжи- тельность, годы	Величина, °C	Интен- сивность, °C/10 лет
Зима (декабрь – февраль)										
Полушарие в целом	1956	1970	14	-0,35	-0,25	1970	2006	36	0,83	0,23
Полярная зона	1958	1966	8	-0,30	-0,37	1966	2008	42	2,99	0,71
Умеренная зона (УЗ)	1948	1971	23	-0,81	-0,35	1971	2001	30	0,91	0,30
Тропическая зона (ТЗ)	1948	1975	27	-0,51	-0,19	1975	2008	33	0,49	0,15
Полушарие – суша	1948	1971	23	-0,78	-0,34	1971	2004	33	0,96	0,29
Полушарие – океан	1958	1970	12	-0,15	-0,12	1970	2008	38	0,76	0,20
Лето (июнь – август)										
Полушарие в целом	1948	1972	24	-0,30	-0,12	1972	2009	37	0,62	0,17
Полярная зона	1955	1969	14	-0,60	-0,43	1969	2009	40	0,75	0,19
Умеренная зона (УЗ)	1948	1974	26	-0,72	-0,28	1974	2009	35	0,67	0,19
Тропическая зона (ТЗ)	1967	1971	4	-0,01	-0,02	1971	2009	38	0,57	0,15
Полушарие – суша	1949	1974	25	-0,62	-0,25	1974	2009	35	0,83	0,24
Полушарие – океан	1957	1971	14	-0,09	-0,07	1971	2009	38	0,49	0,13

Над термически более инерционной подстилающей поверхностью — океаном изменения температуры выражены слабее, чем над сушей, где наибольшие изменения имеют место в умеренной зоне Евразии. Здесь похолодание за 24 года составило $1,02^{\circ}\text{C}$, а потепление за 37 лет — $1,04^{\circ}\text{C}$. Наименьшие изменения температурного режима над сушей наблюдаются в тропической зоне Северной Америки, которая представляет собой узкую полосу суши между океанами. В результате чего долгопериодные колебания приземной температуры здесь невелики. Похолодание за короткий период 11 лет составило $0,13^{\circ}\text{C}$, а современное потепление длящееся 40 лет — $0,48^{\circ}\text{C}$. Над океанической поверхностью наиболее активные температурные изменения происходят в северной части Индийского океана, где потепление продолжается 53 года и составило $0,78^{\circ}\text{C}$.

С высотой в среднем значение величины современного потепления убывает. Так, если в среднем для полушария у поверхности земли она составила $0,77^{\circ}\text{C}$ за 38 последних лет, то на уровне изобарической поверхности 500 гПа (средняя высота около 5,5 км) температура за этот же период времени повысилась на $0,63^{\circ}\text{C}$ (рис. 2.5). Наибольшие различия между величиной потепления у поверхности и в средней тропосфере наблюдаются в приполярной зоне $2,33$ и $0,87^{\circ}\text{C}$ соответственно, а наименьшие в умеренной и тропической (разности составили $0,05$ и $0,06^{\circ}\text{C}$). Тип подстилающей поверхности также не сильно влияет на разности между величиной повышения температуры у Земли и в средней тропосфере, над сушей они около $0,2$, над океанической поверхностью $0,1^{\circ}\text{C}$.

Установленное уменьшение роста температуры в средней тропосфере по сравнению с приземным связано, в частности, с тем, что под влиянием вулканических выбросов с середины 80-х до середины 90-х годов в тропосфере наблюдалось слабое понижение температуры, а не ослабление ее роста как у поверхности Земли.

Таким образом, наиболее длительные периоды потепления за последние 60 лет наблюдаются в приполярной и тропической зонах, но в приполярной зоне потепление намного сильнее. В этих широтных зонах потепление существенно превосходит предшествующее похолодание. В умеренных широтах, где наблюдается интенсивный макротурбулентный межширотный обмен различия между величинами последнего потепления и предшествующего ему похолодания минимальны.

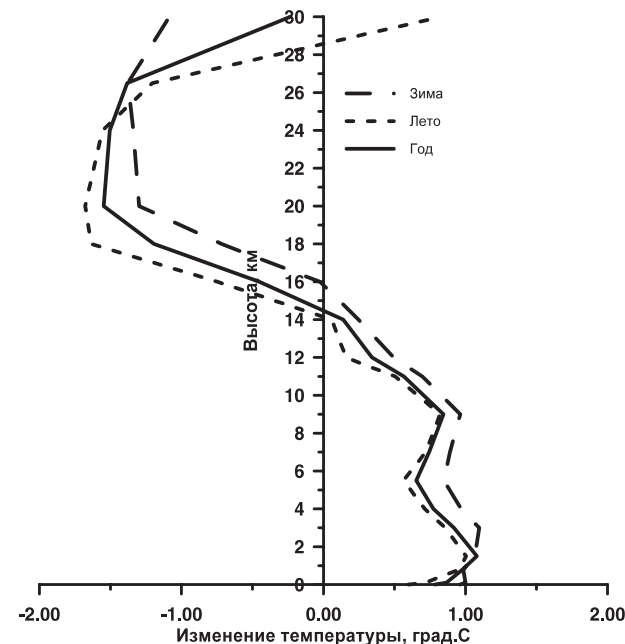


Рис. 2.5. Вертикальные профили осредненных по территории Северного полушария изменений температуры воздуха ($^{\circ}\text{C}$) за период 1971–2009 гг.

Анализ вертикальных разрезов многолетнего хода интенсивности изменения ($^{\circ}\text{C}/\text{год}$) низкочастотной компоненты (с периодом более 10 лет) средней годовой температуры умеренной зоны Северной Америки, Атлантического океана, Евразии, Тихого океана (период 1950–2009 гг.) показывает, что в период 1972–2009 гг. в основной толще тропосферы наблюдалось приращение температуры (потепление), а в стратосфере, наоборот, имело место похолодание (80–90-е годы XX в.). Однако с начала XXI столетия в стратосфере в умеренной зоне Северной Америки, Атлантического океана и Тихого океана, за исключением Евразии, началось потепление. Так как процессы в тропосфере и стратосфере идут в противофазе (рис. 2.5), то можно предположить, что в ближайшие годы в тропосфере возможно наступит похолодание. Процесс замедления потепления в тропосфере просматривается и в масштабах всего земного шара.

Расчет коэффициентов линейной корреляции между рядами сглаженных значений температуры в каждом узле географической сетки и средними по всему полушарию позволил выявить области, в которых ход температуры близок к среднему, и области, в которых он существенно отличается от среднего (рис. 2.6).

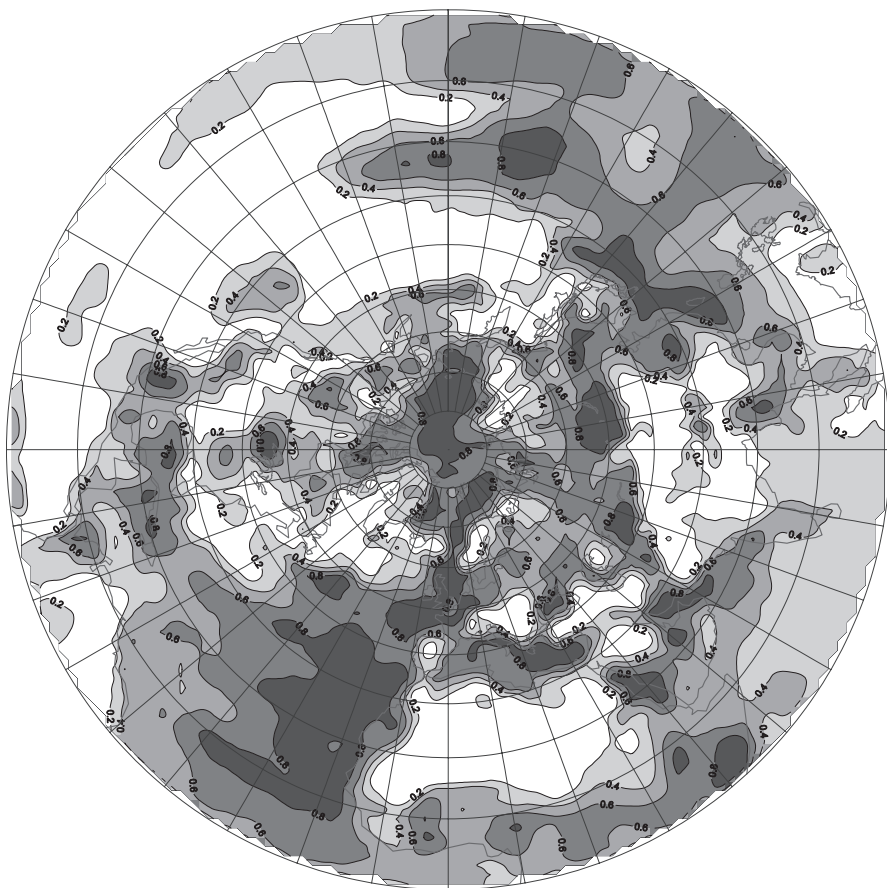


Рис. 2.6. Пространственное распределение коэффициента линейной корреляции между данными НЧ компоненты средней годовой приземной температуры воздуха с периодом 10 лет и более в узлах сетки и средними по северному полушарию

Максимальные значения коэффициентов корреляции, а значит наибольшее сходство хода сглаженных кривых средней годовой приземной температуры воздуха в конкретной точке и средней по полушарию представленной на рис. 2.6 наблюдаются, как правило, над океанической поверхностью (восточная часть Атлантики и Средиземного моря, западная часть Тихого океана, значительная часть Арктики, район Карибского моря и Мексиканского залива и др.), а также на некоторыми континентальными районами (районы Прибайкалья, Великих Озер, северо-запад Канады и Аляска и др.). Одновременно значительная часть полушария характеризуется изменениями температуры не сходными со средним значением (восточная часть Тихого океана, значительная часть Северной Америки, северная Африка, юг Евразии, районы к западу и югу от Гренландии, горные области Евразии и т.д.).

Например, район между южной оконечностью Гренландии и Лабрадором характеризуется постоянным понижением средней годовой температуры до 90-х годов, а затем быстрым ростом, что существенно отличается от средней картины по полушарию. В то же время относительно недалеко на восточном побережье Гренландии ход изменения температуры весьма похож на поведение среднеполушарной температуры.

Однако, несмотря на все разнообразие изменений температуры в различных регионах северного полушария, в большинстве из них наблюдается рост температуры, начиная с 90-х годов XX столетия.

В целях более глубокого изучения происходящих процессов были выделены наиболее холодное и теплое десятилетия. Ими оказались соответственно 1967–1976 и 1994–2003 гг. разность осредненных по этим десятилетиям среднемесячных температур воздуха и зональной скорости ветра указывает на их существенные различия. Так, на карте разностей январских температур самого теплого и самого холодного десятилетия AT_{1000} четко выделяются обширные области повышения температуры на континентах Евразии и Северной Америки (до $+4^\circ$), в то же время в районе горных систем Северной Африки (Сахара) наблюдается понижение температуры (примерно на 1°). Над обширными территориями Тихого и Атлантического океанов заметно понижение температуры, так же как и в районе Охотского моря. Таким образом,

сравнительно сильный прогрев материков сопровождается охлаждением (но менее интенсивным) океанической поверхности.

В режиме ветра за рассматриваемый 46-летний период выявляются следующие структурные особенности: зимой со временем в тропосфере в зоне 0–35° с.ш. наблюдается ослабление зональных потоков, в зоне 40–75° с.ш. их усиление, в полярной области вновь ослабление. В летний период картина более сложная. Выявлены также заметные различия в ветровом режиме двух подпериодов: 1958–1976 и 1977–2003 гг. В тропосфере, как правило, отмечается ослабление со временем западных потоков в субтропическом поясе, над Евразийским континентом, наоборот, скорость увеличивается, в полярной зоне вновь ослабевает. В стратосфере преобладает усиление западных потоков зимой, летом ситуация усложняется: скорость восточных потоков усиливается в субтропическом поясе и в полярном районе, несколько ослабевает в умеренных широтах.

Наблюдающееся преобладающее повышение температуры приводит к увеличению испарения с подстилающей поверхности, что должно способствовать процессам образования облачности. Однако облака являются регулятором радиационных потоков в атмосфере и сами по-разному в разных широтных зонах и в различные сезоны года влияют на изменение температуры. Сложность взаимовлияния температуры и облачности усугубляется изменениями циркуляционного режима.

За исследуемый период 1948–2009 гг. в северном полушарии количество общей облачности (процент покрытия небосклона облаками всех ярусов) в основном уменьшалось. Однако с начала 90-х годов XX столетия наблюдается процесс увеличения количества облачности (КО) над океанами и некоторой стабилизации его понижения — над сушей. Эти изменения невелики. Над океанической поверхностью полушария среднее годовое КО сначала (1948–1989 гг.) уменьшилось на 3%, а затем возросло на 1%. Над сушей в период 1948–2009 гг. уменьшение составило 4%, при этом к концу периода имело место его ослабление. В период 1989–2009 гг. среднее годовое КО над сушей уменьшилось на величину менее чем 0,5%.

Указанный характер динамики КО наблюдался в основном за счет вклада холодного периода, в то время как летом происходили несколько иные изменения КО. Это выражается, прежде всего, в том, что в это

время года изменения среднего годового КО над сушей сдвинуты по фазе приблизительно на 8 лет вперед по сравнению с процессами над океанами. Можно предположить, что обнаруженное несовпадение объясняется более медленной реакцией облачности над сушей, чем над океанами на повышение температуры в условиях менее активного зонального переноса в летний период.

Динамика КО в разных широтных зонах имеет свои особенности. Так, если на фоне общего понижения во внетропических широтах происходило увеличение КО в 60–70-е, наиболее ярко проявившееся в приполярной зоне, сменившееся уменьшением, продолжавшимся до начала 90-х, то в тропической зоне с конца 50-х до 80-х годов происходило уменьшение КО, которое в летний сезон продолжалось еще дольше до начала 90-х и только с этого момента начался рост КО.

Влияние типа подстилающей поверхности и характера циркуляции на изменение КО в умеренной и тропической зонах выразилось в том, что в умеренной зоне зимой в условиях активного макротурбулентного обмена в западно-восточном переносе изменения КО над сушей и океанами происходили синхронно. Летом, когда западно-восточный перенос ослаблен, синхронность нарушается. Особенно это заметно в период потепления начавшегося с конца 90-х годов, когда изменения КО над сушей и океанами умеренных широт носили противофазный характер. В тропической зоне наоборот изменения КО летом носят синхронный характер, а зимой с конца 90-х годов КО над океанами увеличивается, а над сушей уменьшается. Это можно объяснить тем, что летом в тропиках при увеличении облачности над океанами вследствие увеличения испарения в условиях летней муссонной циркуляции облачность переносится на материк. Зимой муссонная циркуляция направлена с суши на океан, а увеличение температуры над сушей лишь удаляет воздух от состояния насыщения, что вызывает противофазный ход изменения облачности.

Как уже было сказано, в последнее время температура повышается большими темпами в приполярной зоне, поэтому со временем уменьшается разность температур между полюсом и экватором, что отражается на характере горизонтальных движений в тропосфере. Установлено, что разности температур между тропической и приполярной зонами северного полушария убывают с середины 60-х годов XX века.

Следует отметить, что с середины 70-х годов уменьшение разностей прекратилось, а затем сменилось даже некоторым возрастанием, но с конца 80-х годов до настоящего времени температурные разности средних годовых температур между тропическими широтами и приполярными уменьшаются со средней скоростью $0,8^{\circ}\text{C}/10$ лет. Наибольший вклад в подобное изменение разностей вносит зимний сезон, однако, с конца 90-х годов уменьшение разностей между температурами тропических и приполярных широт наблюдается и летом.

При ослаблении температурного контраста между полюсом и экватором следовало бы ожидать уменьшения интенсивности западно-восточного переноса в умеренных широтах, но сложность взаимовлияния изменений температуры и циркуляции, определенная автономность поведения центров действия атмосферы в различные сезоны года определяют довольно сложный ход зональной циркуляции.

Наиболее активные изменения зональной компоненты скорости ветра (ЗКСВ) происходят в приполярной зоне, где зимой в течение всего исследуемого периода при наличии заметных колебаний происходит ее уменьшение. Летом в этом регионе северного полушария в период с начала 60-х и до середины 90-х годов наблюдалось увеличение ЗКСВ, а далее и до настоящего времени в период наиболее активного потепления имеет место довольно быстрое ее уменьшение. Интенсивность уменьшения ЗКСВ в этот период составляет около 1 м/с за 10 лет.

В умеренных широтах зимой с середины 60-х и до начала 90-х годов ЗКСВ возросла приблизительно на $0,8$ м/с. Далее в ходе ЗКСВ наблюдаются колебания с периодом около 15 лет и амплитудой $0,2$ м/с. Эти колебания проявляют себя над сушей и Атлантическим океаном, в то время как на Тихом океаном в последние десятилетия отмечается устойчивый рост ЗКСВ. Летом в умеренных широтах в связи с уменьшением контраста между основными центрами действия атмосферы в последние десятилетия происходит ослабление западного переноса. Следует отметить значительное сходство изменений ЗКСВ в нижней (изобарическая поверхность 850 гПа) и средней тропосфере (поверхность 500 гПа) внетропических широт, особенно в зимний период.

В тропической зоне зимой в нижней тропосфере преобладают восточные потоки, а в средней — западные, летом же восточные потоки

преобладают во всей тропосфере. Зимой в нижней тропосфере до середины 60-х годов восточные потоки ослабевали, а далее возрастали и увеличиваются по настоящее время; в средней тропосфере западные потоки увеличивались до конца 70-х годов, а затем величина уменьшения скорости западного переноса составила 1 м/с за 30 лет. Летом изменения ЗКСВ в тропической зоне в нижней и средней тропосфере с середины 60-х годов носят противофазный характер. До конца 70-х годов восточные потоки в нижней тропосфере слабо возрастали, а в средней — убывали, далее изменения ЗКСВ в нижней и средней тропосфере противоположны, но интенсивность изменений больше.

На фоне уменьшения со временем интенсивности похолоданий и увеличения интенсивности потеплений, а также отчетливого проявления в ходе средней годовой приземной температуры воздуха северного полушария 60–70-летнего колебания, выявлено наличие более слабого 20-летнего цикла проявляющего себя в периоды похолоданий. Это позволяет в ближайшем будущем ожидать некоторого снижения темпов потепления, и даже возможно слабого похолодания на фоне уже достигнутых высоких значений.

Таким образом, главные результаты выполненного анализа таковы:

1. Установлено, что за последние 36 лет температура умеренных широт повысилась на $0,76^{\circ}\text{C}$, что почти в три раза меньше чем в приполярной зоне ($2,33^{\circ}\text{C}$), а наименьшие изменения средней годовой приземной температуры воздуха наблюдаются в тропиках, где за последние 38 лет температура повысилась на $0,52^{\circ}\text{C}$. Причем над океанической поверхностью изменения температуры выражены существенно слабее, чем над сушей.

2. Определены величины современного потепления в тропосфере. Показано, что если в среднем для полушария у поверхности земли потепление составило $0,77^{\circ}\text{C}$ за 39 последних лет, то на уровне изобарической поверхности 500 гПа (средняя высота около $5,5$ км) температура за 37 лет повысилась на $0,63^{\circ}\text{C}$. Причем наибольшие различия между величиной потепления у поверхности Земли и в средней тропосфере наблюдаются в приполярной зоне $2,33$ и $0,87^{\circ}\text{C}$ соответственно, а наименьшие в умеренной и тропической (разности составили $0,05$ и $0,06^{\circ}\text{C}$).

3. Построенные вертикальные профили осредненных по территории СП, суши и океана, различных широтных зон изменений температуры воздуха за период с 1971 по 2009 г. по годовым и сезонным данным показывают, что наибольший прирост температуры за этот период наблюдается на уровне изобарической поверхности 850 гПа (более 1°C). При переходе из тропосферы в стратосферу происходит смена знака изменения температуры (похолодание стратосферы). Вид вертикального профиля зависит от типа подстилающей поверхности и широтной зоны.

4. Проведенное исследование показало, что за исследуемый период 1948–2009 гг. в северном полушарии преобладающее уменьшение количества общей облачности, которое с начала 90-х годов XX столетия сменилось процессом увеличения количества облачности над океанами и некоторой стабилизацией его понижения — над сушей, что может быть объяснено большим поступлением в атмосферу водяного пара в условиях потепления.

5. Установлено также что, зимой в течение всего исследуемого периода в приполярной зоне зональная компонента скорости ветра уменьшается. В то время как, летом в этом регионе уменьшение происходит лишь с середины 90-х годов и до настоящего времени, т.е. в период наиболее активного потепления. В умеренных широтах зимой над Тихим океаном в последние десятилетия отмечается устойчивое усиление зональной циркуляции. Летом же в умеренных широтах в связи с уменьшением контраста между основными центрами действия атмосферы в последние десятилетия происходит ослабление западно-восточного переноса.

2. Физико-географическая характеристика Среднего Поволжья

В пределы рассматриваемой территории Среднего Поволжья входят следующие субъекты Российской Федерации: Кировская, Самарская, Ульяновская области, Республики Марий-Эл, Татарстан, Удмуртия, Чувашия. Общая площадь этой территории более 360 тыс. км² располагается между 61° с.ш. — 52° с.ш. и 46° в.д. — 54° в.д.

Общие черты рельефа предопределены тектоникой, принадлежностью территории к древней докембрийской платформе, с давнего времени не испытывавшей процессов горообразования. Почти все крупные возвышенности и низменности тектонического происхождения, при этом значительная часть унаследована от структуры кристаллического фундамента (Раковская, Давыдова, 2001).

Несмотря на общий равнинный характер поверхности, данную территорию нельзя назвать однообразной по рельефу. Здесь есть и возвышенности — Приволжская, Бугульминско-Белебеевская, Верхнекамская, Северные Увалы, Вятский Вал и низменности — Марийская низина, Низменное Заволжье. Разнообразие рельефа отражает сложность геологических и геоморфологических условий в пределах данного обширного региона.

С.С. Воскресенский (1968) в пределах исследуемой территории выделяет три геоморфологические области: сильнопересеченные равнины с преобладанием стертых ледниковых форм и молодых эрозионных форм (до южной границы Московского оледенения); слабонересеченные равнины с водноледниковой и речной аккумуляцией; сильнопересеченные эрозионные равнины со слабым развитием чехла рыхлых отложений и широким распространением структурных форм.

Первая геоморфологическая область занимает крайний север территории (Кировская область) и представлена подобластью Северных

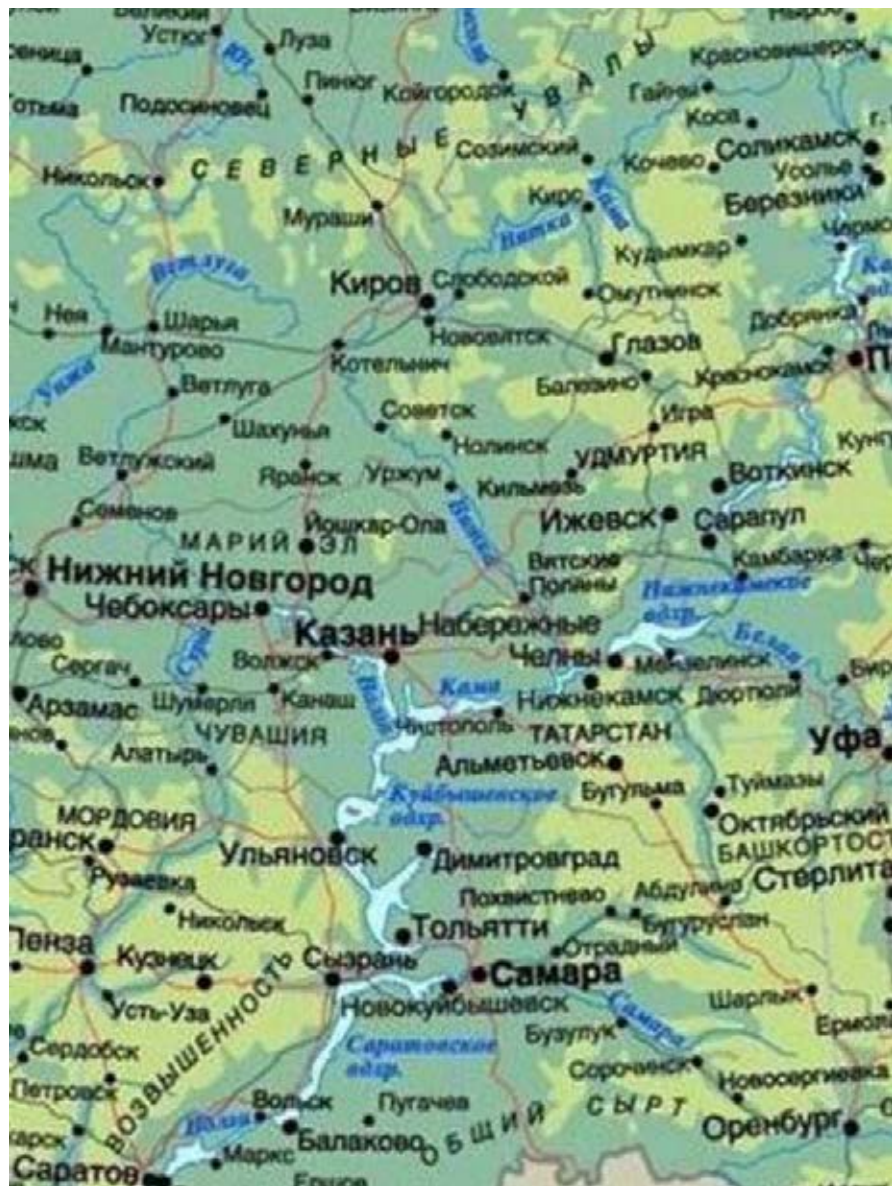


Рис. 3.1. Общая географическая карта Среднего Поволжья

Увалов. Северные Увалы — невысокая возвышенность на водоразделе северной Двины и Волги. Абсолютные отметки Увалов — 200–250 м и лишь на западе местами до 293 м (рис. 3.1).

Рельеф Северных Увалов отличается мягкостью очертаний и сглаженностью форм. Преобладают слабоволнистые, увалистые равнины, местами хорошо дренированные. Сложены Северные Увалы рыхлыми мезозойскими отложениями. Северные Увалы — тектонически обусловленная возвышенность, положение которой совпадает с осью Московской синеклизы. Подобласть имеет следы среднеледникового оледенения. Это плащи моренных суглинков на водораздельных пространствах, а также и пуги. Позднеледниковая эрозия расчленила Северные Увалы на части, поверхности их ровные — «ровняди». В долинах рек, кроме поймы, обычно две террасы.

Область слабопересеченных равнин с водноледниковой и речной аккумуляцией на данной территории представлена подобластью Низкого Заволжья (Приволжских низин), вытянутой по левобережью Волги (территория Марий Эл). Это северная часть низин от западных границ территории до Казани (встречается также название Ветлужско-Марийской полесье). Это низменная равнина с абсолютными отметками на севере не более 180 м, а на юге, у уреза воды в Волге, 50–80 м. Равнина зандровая с сильной заболоченностью, имеются озера, частично карстового и суффозионного происхождения. Четвертичные отложения мощностью до 100 м в основном песчаные, залегают на размытой поверхности пермских пород. Песчаная равнина расчленена современными долинами с двумя террасами.

Южнее долины Камы проходит обширная Заволжская полоса низин. В ее северной части вдоль Волги протягиваются невысокие (100–160 м) аккумулятивные равнины Низкого Заволжья. Данная подобласть приурочена к плиоцен-четвертичному прогибу. Структура области осложнена глубокой долиной среднелидниковой палео-Волги, выполненной мощными морскими и аллювиально-озерными отложениями верхнего миоцена. Вдоль левобережья Волги прослеживаются широкие речные террасы четвертичного возраста относительной высотой до 80 м (Равнины..., 1974).

Область сильнопересеченных эрозионных равнин со слабым развитием чехла рыхлых отложений и широким распространением

структурных форм представлена двумя подобластями — *Приволжской возвышенности и Высокого Заволжья*. Эти возвышенности занимают неледниковую часть Русской равнины.

Приволжская возвышенность образует высокое правобережье Волги (восток Чувашии, предволжье Татарстана, правобережье Ульяновской и Самарской областей). Она характеризуется эрозионно-денудационным пластово-моноклиальным ярусным рельефом, выработанным в верхнепалеозойских, мезозойских и кайнозойских отложениях. Приволжская возвышенность представляет собой расчлененное эрозией асимметричное плато с пологим западным склоном и обрывистыми восточными склонами. Максимальная высота возвышенности — 375 м — Жигулевские горы. Долины рек врезаны глубоко: береговые обрывы — яры — до 100 м высоты и более.

Помимо эрозионного расчленения в формировании рельефа Приволжской возвышенности большая роль принадлежит тектонике. Их крупных тектонических структур на возвышенности хорошо выражена Волжская синеклиза. Она вытянута по правобережью Волги в меридиональном направлении, является областью накопления меловых, юрских отложений большой мощности. С крутым восточным краем синеклизы связана серия резких тектонических нарушений. Самые значительная из них Жигулевская дислокация. В Жигулях грандиозная дислокация вывела на один уровень с меловыми породами верхнекаменноугольные и пермские известняки и доломиты. Волга, встречая плотные палеозойские известняки, образует у Жигулей огромную Самарскую луку. Долина Волги сужается: справа и слева от реки поднимаются высокие обрывы Жигулевских и Сокольских гор. Это Жигулевские ворота.

В пределах возвышенности наблюдается три яруса или ступенчатость рельефа. Поверхности срезают различные стратиграфические и литологические горизонты. Разделяются четко выраженными уступами. Ступенчатость рельефа связана с древними циклами выравнивания, а также, видимо, с денудационной препарировкой литологически разнородных толщ.

Присутствие на Приволжской возвышенности легкорастворимых пород (доломитов, известняков, мела) обуславливает развитие карстовых форм. Типичные карстовые формы характерны для Алатырского,

Жигулевского районов, предволжья Татарстана. По крутым склонам, особенно в правобережье Волги и Свияги распространены оползневые процессы.

Подобласть Высокого Заволжья включает Верхнекамскую возвышенность, Вятский Вал, Бугульминско-Белебеевская возвышенность и Общий Сырт.

Верхнекамская возвышенность (восточная часть Кировской области и север Удмуртии) — с высотами до 330 м — эрозионно-денудационная (выровненная) пластово-моноклиальная возвышенность на пермских, реже мезозойских отложениях. Характерны многочисленные структурно-денудационные формы и элементы рельефа.

Вятский Вал — ясно выраженный тектонический вал, в осевой зоне которого обнажаются казанские известняки. Высоты колеблются от 200 до 250 м, максимум — 284 м. Характерно глубокое эрозионное расчленение и широкое распространение форм известняково-доломитового карста.

Бугульминско-Белебеевская возвышенность характеризуется значительными абсолютными высотами — водоразделы поднимаются на 350–400 м увеличиваясь в восточном направлении, достигая 479 м (максимальная отметка всей Русской равнины). Это эрозионно-денудационная пластово-моноклиальная возвышенность сложена пермскими отложениями. Хорошо выражены два основных уровня поверхностей денудационного выравнивания (350–450 и 250–300 м). На Бугульминско-Белебеевской возвышенности по среднему течению реки Ик широко распространены карстовые формы рельефа, связанные с растворением гипсов.

Общий Сырт в пределах рассматриваемой территории входит лишь своими северными окраинами. Он сложен пермскими и мезозойскими отложениями. Преобладает эрозионно-денудационный рельеф с высотами до 300 м. Глубокие, резко асимметричные долины рек расчленяют местность на множество асимметричных увалов-сыртов.

Изучаемая территория обладает развитой озерно-речной сетью, густота которой изменяется вслед за климатическими условиями с севера на юг.

Реки. В зависимости от особенностей орографии реки на рассматриваемой территории текут в двух основных направлениях — север-

ном и южном. Водораздел между реками северной и южной покатости проходит по Северным Увалам. Реки северной покатости занимают крайний север исследуемой территории. Это притоки реки Юг (Пушма, Луза) и Вычегды (Виледь), относящиеся к бассейну Северной Двины, стекающей в Белое море. Реки южной покатости относятся к бассейну реки Волги и стекают в Каспийское море.

Все реки относятся к одному климатическому типу — преимущественно снегового питания с весенним половодьем. Несмотря на это реки существенно отличаются по своему режиму.

Реки северной части располагаются в области положительного баланса влаги, где осадки преобладают над испарением. Поскольку фактическое испарение с земной поверхности меньше величины испаряемости, то сток северных рек достигает 10 л/сек км². Эти реки многоводны. Многоводье рек сочетается с более или менее равномерным распределением стока по сезонам года. В питании рек, несмотря на преобладание снегового питания, значительную роль играют дождевые и грунтовые воды. Поэтому реки не мелеют летом и зимой так резко, как реки южной части. К тому же весеннее половодье у них не бурное, поскольку снег в лесах севера тает медленно (Милюков, Гвоздецкий, 1986).

В других условиях находятся реки южной части. При значительном испарении и меньшем количестве осадков сток сокращается до 2–6 л/сек км². Незначительность стока объясняет маловодность рек. В их питании увеличивается процент снеговых вод (до 70% и более), поэтому сток распределен по сезонам года неравномерно: подавляющая часть его приходится на короткий период весеннего половодья. Летом расход воды даже у крупных рек незначителен.

На крупных реках исследуемой территории создан каскад водохранилищ: на Волге — Чебоксарское (у г. Чебоксары) и Куйбышевское (около г. Тольятти, выше Самарской Луки); на Каме — 3 водохранилища — от устья реки Уролка (996 км от устья Камы) начинается Камское водохранилище (Камская ГЭС), непосредственно ниже его — Воткинское водохранилище (Воткинская ГЭС), за ним — Нижнекамское водохранилище (Нижнекамская ГЭС).

Водохранилища сильно изменили режим стока рек как выше, так и ниже плотины: сток в половодье существенно уменьшился, а в ме-

жень — возрос. К примеру, колебания уровней воды Волги в настоящее время у г. Казани составляют 5–6 м, в то время как до создания водохранилища они достигали 10–11 м. После создания водохранилищ изменился ледовый режим: водоемы стали замерзать примерно на 3–5 дней раньше, а освобождаться ото льда — позже.

Создание водохранилищ обусловило активизацию ряда экзогенных процессов — абразию и размыв берегов, активизацию оползней.

Очень изменились условия произрастания прибрежной и водной растительности, обитания птиц и рыб.

Исследуемая территория относится к области пойменных и суффузионно-карстовых озер. Озера на исследуемой территории распределены неравномерно, кроме того, из-за хорошо выраженного эрозийного рельефа озер мало. Распространены лишь пойменные озера и небольшие карстовые и суффузионные. Сравнительно малое количество озер восполняется искусственными водоемами, созданными в вершинах балок.

В пределах русской равнины выделяется семь зон (провинций) грунтовых вод (Милюков, Гвоздецкий, 1986). Грунтовые воды исследуемой территории относятся к двум областям: 1) грунтовые воды аллювиальных и флювиогляциальных равнин (Марийское полесье). Для зоны характерны обильные слабоминеральные грунтовые воды, залегающие близко к поверхности (0–3 м). Зона полесий сильно заболочена, преобладают низинные и переходные болота; 2) грунтовые воды районов с маломощным четвертичным покровом и большими по площади выходами дочетвертичных коренных пород. К этим районам принадлежат: Высокое Заволжье, Приволжская возвышенность. Водоносные коренные породы, литология и возраст коренных пород различны. Расчлененный овражно-балочный рельеф и континентальный климат обуславливают глубокое залегание грунтовых вод — свыше 20 м. Заболоченность территории незначительна, встречающиеся болота принадлежат к типу низинных.

Почвенный покров на рассматриваемой территории обнаруживает отчетливую зональность. В северной части под лесами распространены почвы подзолистого типа: типичные подзолистые разной степени оподзоленности в средней тайге, дерново-подзолистые в южной тайге и в зоне смешанных лесов. В зоне лесостепи формируются серые лес-

ные почвы. Под степной растительностью распространены черноземы выщелоченные и оподзоленные, которые по мере нарастания сухости сменяются черноземами типичными, обыкновенными и южными.

Природные зоны. Здесь наблюдается смена природных зон от лесной на севере до степной на юге.

Южная граница лесной зоны проходит от Нижнего Новгорода через Казань, по правобережью Камы и Белой. Тайга представлена типичной и южной подзоной. Подзона средней тайги характеризуется господством ельничко-черничников в группе зеленомошных ельников, сомкнутым древостоем, отсутствием березы в качестве примеси к ели.

В подзоне южной тайги леса находятся в более благоприятных условиях для произрастания. Вместо ельников-черничников распространенной ассоциацией становятся ельники-кисличники. Появляется новый тип хвойного леса — сложные (кустарниковые) ельники и сосняки, содержащие в кустарниковом ярусе липу, вяз, орешник, бересклет бородавчатый и другие виды, свойственные широколиственному лесу.

Лесостепь в пределах изучаемой территории представлена тремя подзонами: северной, типичной и южной лесостепью. Северная лесостепь развита на серых лесных почвах и оподзоленных черноземах и в прошлом была почти сплошь покрыта широколиственными лесами. В типичной лесостепи в прошлом чередовались лес и разнотравная степь. Почвы типичной лесостепи — выщелоченные и типичные черноземы с островами лесных и оподзоленных черноземов.

Южная лесостепь характеризуется господством злаковых степей и присутствием на водоразделах изолированных лесных островков.

Северная, типичная и южная лесостепь занимает Приволжскую возвышенность, в Высоком Заволжье — северная и типичная лесостепь, типичная лесостепь представлена в Низменном Заволжье.

Степная зона занимает крайний юг изучаемой территории (Самарская область) Зональный почвенно-растительный покров образован разнотравно-типчаково-ковыльными степями на обыкновенных и южных черноземах.

4. Радиационный режим

Солнечная радиация является одним из важнейших факторов формирования климата. Она обуславливает тепло- и влагообмен, суточный и годовой ход метеорологических величин, определяет общий приход тепла к земной поверхности и различия в её радиационном нагреве. Наиболее значимым параметром радиационного режима является суммарная радиация и не только потому, что этот элемент характеризует источник энергии атмосферных процессов, но и вследствие того, что он играет главную роль при решении многих научных и прикладных задач. Наряду с суммарной радиацией большое значение имеет радиационный баланс деятельной поверхности, который является ведущим компонентом теплового баланса. Он определяет величину и знак потоков тепла в воздух и почву, суточный ход испарения и конденсации водяного пара. Также важной климатологической характеристикой является продолжительность солнечного сияния. Данные по солнечному сиянию широко используются при выполнении различных научных разработок в гелиоэнергетике, градостроительстве, здравоохранении, сельском и лесном хозяйстве и др.

Наряду с временной структурой рядов солнечной радиации позволяющей получить средние и вероятностные суммы радиации, большое значение имеет также пространственная структура. Исследования пространственной структуры рядов солнечной радиации необходимы для определения радиационных характеристик в пунктах, где не проводятся актинометрические наблюдения, для расчета средних по площадям, для решения вопроса об автоматическом контроле качества наблюдений.

4.1. Продолжительность солнечного сияния

Одной из важных климатических характеристик является солнечное сияние, его фактическая (при данных условиях облачности) и возможная (при ясном небе) продолжительность. Особенности атмосферной циркуляции и связанной с ней облачности приводят к нарушениям в широтном распределении характеристик солнечного сияния. Основной характеристикой солнечного сияния является суммарное число часов с солнечным сиянием, т.е. его продолжительность.

Продолжительность солнечного сияния в основном зависит от длины дня, т.е. широты места, и возрастает с севера на юг. Однако широтное распределение этой характеристики часто нарушается влиянием облачного покрова, обусловленного особенностями атмосферной циркуляции, и местными условиями, существенное влияние также оказывают условия расположения метеорологических площадок. Уменьшение продолжительности солнечного сияния отмечается в городах из-за наличия большого количества пыли и дыма в атмосфере, а также вследствие большой защищенности горизонта городскими постройками.

Для оценки географического распределения месячных и годовых сумм продолжительности солнечного сияния по территории Среднего Поволжья построены 13 карт распределения этой величины. В основу, которых положены среднемесячные значения продолжительности солнечного сияния по 37 станциям (Справочник ..., 1966). На годовой карте изолинии проведены через 50 час, на месячных — через 5 часов.

На рассматриваемой территории увеличение числа часов солнечного сияния происходит с северо-запада на юго-восток. Если на северо-западе продолжительность солнечного сияния за год составляет 1570-1600 час (рис. 4.1), то на юго-востоке она достигает 2300-2400 час. Уменьшение продолжительности солнечного сияния на северо-западе обусловлено в основном большей повторяемостью пасмурного состояния неба. Наибольшее число часов с солнечным сиянием отмечается в июне — июле, наименьшая в декабре.

В январе (рис. 4.2) на территории Среднего Поволжья наблюдается в среднем широтное распределение продолжительности солнеч-

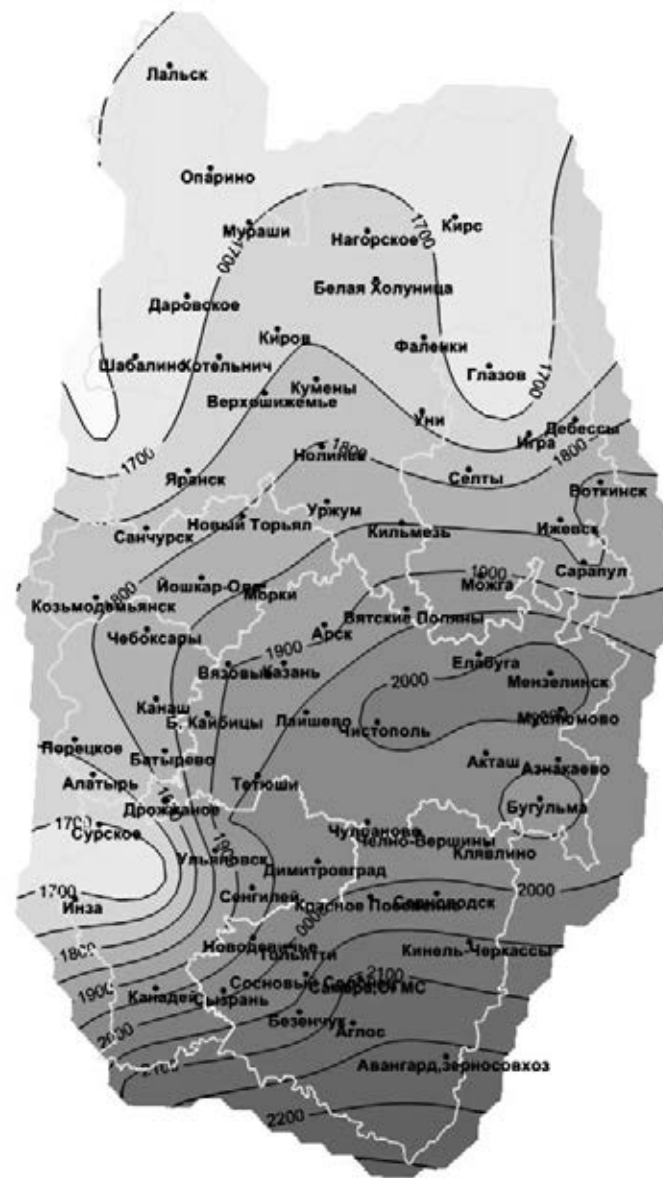


Рис. 4.1. Продолжительность солнечного сияния (час) за год

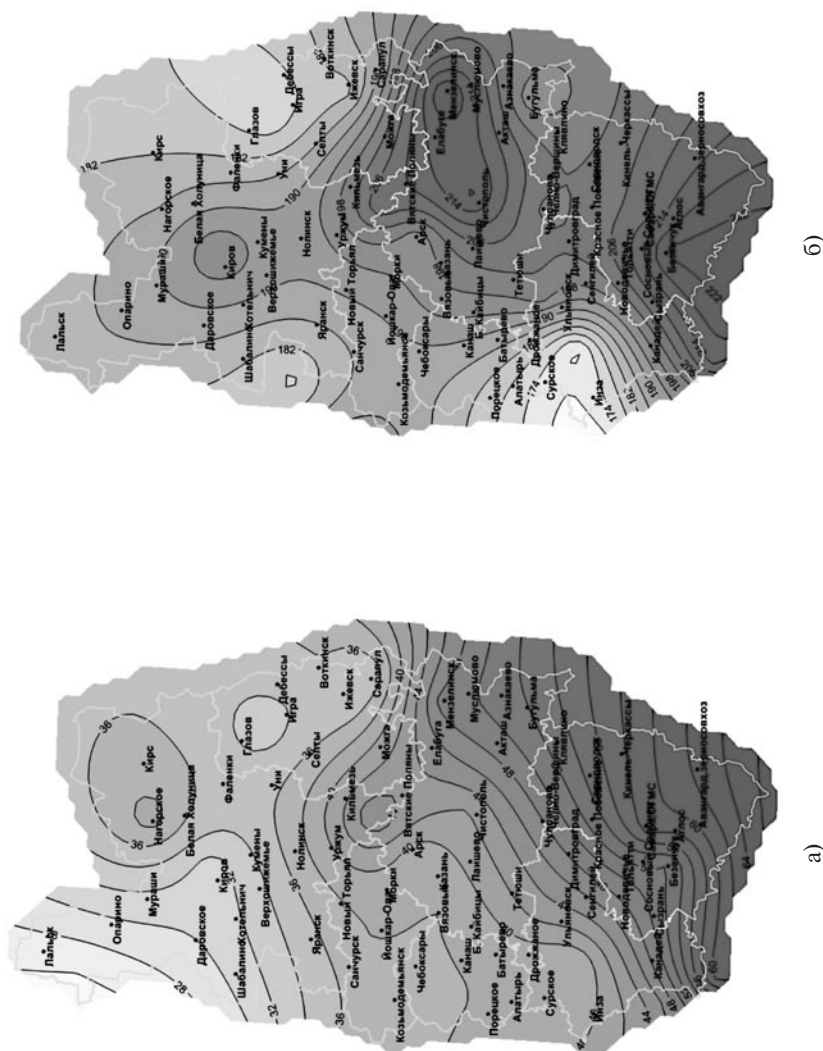


Рис. 4.2. Продолжительность солнечного сияния (час) в январе (а), и апреле (б)

ного сияния: значения убывают по мере продвижения с юга на север территории. В северо-западной части региона месячные значения продолжительности солнечного сияния наименьшие – 20–25 час. Наибольшие значения наблюдаются на юго-востоке территории – 55–65 час (Будыко, 1956).

Резкое возрастание числа часов с солнечным сиянием наблюдается в период от февраля к марту, что обусловлено как увеличением продолжительности дня, так и значительным уменьшением весной повторяемости пасмурных дней. В северо-западных районах число часов с солнечным сиянием в феврале составляет 50–60 час, в марте – 120–130 час. Почти в два раза увеличивается продолжительность солнечного сияния в марте по сравнению с февралем также и в других районах рассматриваемой территории.

В апреле (рис. 4.2) продолжительность солнечного сияния продолжают увеличиваться. На Европейской территории страны влияние астрономических факторов на продолжительность солнечного сияния перекрывается влиянием облачности (Кондратьев, 1954; Переведенцев, Николаев, 2002), в результате чего на севере Среднего Поволжья отмечается минимум 170–180 час. Максимальные величины (210–225 час) наблюдается на юге территории.

В мае минимальные месячные суммы продолжительности солнечного сияния наблюдаются в северных районах Среднего Поволжья. Второй дополнительный минимум отмечается на юго-западе Пензенской области. Ярко выраженный максимум (до 300 час) наблюдается на юго-востоке Самарской области. Более резко, чем в мае, выражено возрастание месячных сумм продолжительности солнечного сияния с увеличением широты на севере Среднего Поволжья в июне.

В июле (рис. 4.3) наибольшая продолжительность солнечного сияния наблюдается на юге территории, 330–345 час, что составляет 70–75% от возможной продолжительности солнечного сияния, наименьшая 260–270 час, т.е. 50–55% от возможного числа часов с солнечным сиянием за месяц.

В августе величины продолжительности солнечного сияния увеличиваются с северо-запада на юго-восток. Максимальные суммы продолжительности солнечного сияния отмечаются на юге Самарской области (275–280 час), минимальные на севере региона (235–245 час).

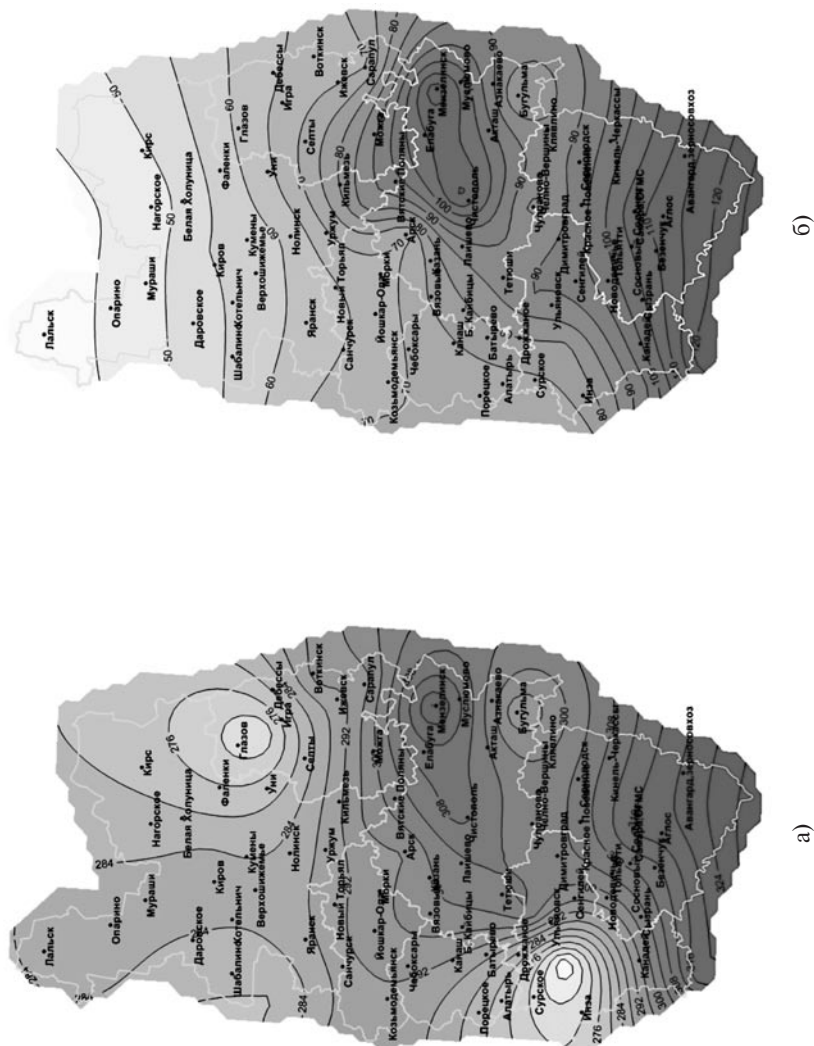


Рис. 4.3. Продолжительность солнечного сияния (час) в июле (а), октябре (б)

Резкое уменьшение числа часов солнечного сияния наблюдается при переходе от сентября к октябрю. В северных районах Кировской области от 110-115 час в сентябре продолжительность солнечного сияния уменьшается до 40-45 час в октябре, т.е. больше чем в два раза. В других районах рассматриваемой территории обычно продолжительность солнечного сияния в октябре почти в два раза меньше, чем в сентябре (рис. 4.3).

В ноябре характер распределения продолжительности солнечного сияния в основном аналогичен октябрьскому — почти широтный ход изолиний и довольно равномерное увеличение значений числа часов солнечного сияния с уменьшением широты местности.

В декабре наименьшая продолжительность солнечного сияния отмечается на северо-западе территории около 15 час (около 10% от возможной продолжительности), наибольшая — на юго-востоке, 50-70 час (25-30% возможной). В это время года продолжительность солнечного сияния больше зависит от облачности. В отдельные зимы продолжительность солнечного сияния составляет только 1-3% от возможной.

Дополнением к данным по продолжительности солнечного сияния по месяцам является продолжительность его по часам суток. В летние месяцы продолжительность солнечного сияния регистрируется в основном с 3 до 21 часа. Максимальная продолжительность более 20 час, в сумме за месяц отмечается около полдня (в среднем от 10 до 12 часов). Зимой (декабрь — январь) запись солнечного сияния начинается значительно позднее и кончается раньше (в декабре с 8 до 16 час), причем наибольшее число часов солнечного сияния, около 8—9 час в сумме за месяц, отмечается в основном после полдня, в интервале между 12—14 часами.

Большое прикладное значение имеет знание непрерывной продолжительности солнечного сияния. Повторяемость непрерывной продолжительности солнечного сияния по градациям имеется по 12 станциям региона, расположенным в различных районах рассматриваемой территории. В течение всего года наибольшая повторяемость непрерывной продолжительности солнечного сияния приходится на градацию от 2 до 6 часов. Осенью это составляет 20-30% всех случаев наблюдений, зимой — 30-40%, весной и летом — несколько меньше, 15-25%. Летом возможны дни с солнечным сиянием 16-18 час подряд.

Соответственно увеличению продолжительности солнечного сияния с северо-запада на юго-восток происходит и уменьшение числа дней без солнца. Больше всего дней без солнца наблюдается в северных районах Нижегородской и Кировской областей, около 120-130 дней в году. По мере продвижения в более южные районы число дней без солнца уменьшается: в Мордовии, Чувашии и на юге Удмуртии составляет обычно около 90-100 дней за год; в Татарстане, Самарской и Пензенской областях 43-53 дней за год, в Саратовской 47-56 дней за год. Летом число дней без солнца мало изменяется по территории и составляет в среднем 1-3 дня. Весной (апрель – май) бывает обычно около 3-6 дней без солнца. В декабре по всей территории наблюдается максимальное число пасмурных дней, от 25 на западе территории (Костромская область) до 15–20 на юго-востоке (Саратовская, Самарская области).

4.2. Составляющие радиационного баланса

Солнечная радиация, поступающая к земной поверхности, является одним из основных климатообразующих факторов. В свою очередь она в значительной степени зависит от циркуляции атмосферы (что проявляется через облачность и прозрачность атмосферы), особенностей подстилающей поверхности (высоты над уровнем моря, закрытости горизонта и альбедо поверхности) и, прежде всего, астрономических факторов – продолжительности дня и высоты солнца. Вопросам изучения радиационного режима отдельных территорий, характеристик солнечной радиации и их взаимодействия с атмосферой и земной поверхностью посвящен целый ряд работ.

Средний годовой приход прямой солнечной радиации на горизонтальную поверхность при ясном небе, т.е. возможный приход (табл. 4.1), изменяется по территории в пределах 4381–5099 МДж/м² (Научно-прикладной..., 1988).

Облачность снижает поступление прямой солнечной радиации на 55-67% от возможной и в то же время увеличивает рассеянную радиацию более чем в полтора раза. Таким образом, при реальных условиях облачности годовой приход прямой радиации колеблется в пределах

1611-2427 МДж/м² по территории Среднего Поволжья, увеличиваясь с запада на восток и с севера на юг. При этом наибольшее количество солнечного тепла 316-412 МДж/м² поступает в июне, а в декабре оно оказывается наименьшим в году 2-22 МДж/м². Таким образом, среднегодовая амплитуда в количестве поступающего к земной поверхности солнечного тепла составляет 355 МДж/м², почти 20% от годовой суммы (рис. 4.4.).

Таблица 4.1

Месячные и годовые суммы прямой радиации при ясном небе (МДж/м²)

Ме- сяцы	Пункты							
	Кост- рома	Нолинск	Нижн. Новгород	Вязовые	Самара	Рос- тоши	Саратов	Ершов
Янв.	50	67	67	67	96	96	109	109
Фев.	151	163	163	156	184	205	214	214
Март	339	348	348	354	389	398	406	402
Апр.	465	528	494	520	536	557	561	569
Май	662	696	675	687	700	679	700	700
Июнь	733	733	746	712	725	725	754	763
Июль	654	683	658	687	687	700	726	717
Авг.	569	574	553	569	569	553	603	587
Сент.	385	386	377	398	419	448	419	482
Окт.	238	205	218	205	268	272	193	298
Нояб.	80	88	122	113	134	159	155	155
Дек.	55	38	63	63	55	92	88	101
Год	4381	4508	4513	4546	4743	4885	5057	5099

Следует также отметить, что возрастание прямой радиации весной идет более равномерно, чем спад ее осенью. Так, весной возрастание радиации от месяца к месяцу, начиная с марта и до конца июня включительно, составляет 219–323 МДж/м². Осенью, начиная с сентября, уменьшение ее более резкое. Так, от августа к сентябрю она уменьшается в среднем на 124 МДж/м², от сентября к октябрю – на 99 МДж/м². В последующие месяцы понижение ее меньше, а начиная с февраля происходит уже возрастание, правда в начале небольшое – от января к февралю в среднем на 35 МДж/м².

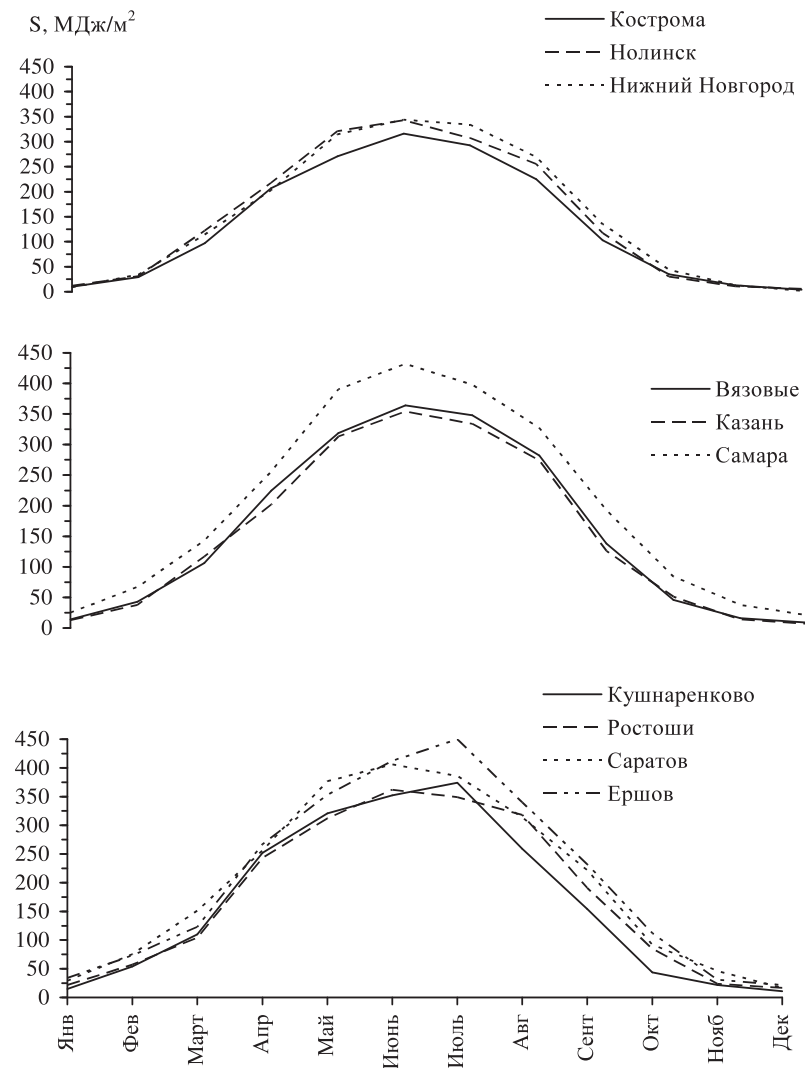


Рис. 4.4. Годовой ход действительных сумм прямой солнечной радиации (МДж/м²)

Максимум прямой радиации, приходящей на горизонтальную поверхность, приходится на июнь. В отдельные годы максимум отмечается в мае или июле. Подобные смещения времени наступления максимума прихода прямой солнечной радиации относительно его среднего положения в июне связаны прежде всего с условиями циркуляции, режимом облачности и прозрачности атмосферы.

Осенью, зимой и весной хорошо прослеживается нарастание сумм прямой солнечной радиации с севера на юг. В летние месяцы в пределах рассматриваемой территории эта закономерность выражена слабо.

Сопоставление данных о прямой радиации, падающей на горизонтальную поверхность при безоблачном небе и сплошной облачности показывает насколько велико ослабляющее действие на прямую радиацию облачности. Сплошная облачность нижнего и среднего яруса почти не пропускает радиации, облачность верхнего яруса заметно ее ослабляет. По данным наблюдений на станциях Среднего Поволжья, выяснено, что с увеличением высоты солнца это ослабление уменьшается. Слоистые и слоисто-кучевые (равно как и слоисто-дождевые) облака полностью задерживают солнечную радиацию при всех высотах Солнца (Переведенцев, Николаев, 2002; Пивоварова, 1963).

В суточном ходе прямой солнечной радиации, падающей на горизонтальную поверхность, максимум во все месяцы года наступает, в среднем, в полдень (срок наблюдений 12 час 30 мин).

Годовые суммы рассеянной радиации при безоблачном (ясном) небе составляют 1094–1324 МДж/м² (табл. 4.2). Годовой ход действительных месячных сумм рассеянной радиации представлен на рис. 4.5. Зависимость интенсивности рассеянной радиации от высоты Солнца линейна. Она возрастает с увеличением высоты Солнца, причем тем больше чем больше количество облаков.

Сопоставляя годовой ход прямой и рассеянной радиации при ясном небе (табл. 4.1 и 4.2), можно отметить, что, начиная с сентября по март включительно, месячные суммы рассеянной радиации превышают соответствующие значения прямой радиации. В остальное время года прямая радиация превышает рассеянную. При этом в наибольшей мере превышение прямой радиации над рассеянной (48–128 МДж/м²) отмечается в июне. В целом за период апрель – сентябрь прямая радиация составила 83–90%, а рассеянная – 69–77% от соответствующих

их годовых сумм. Таким образом, за холодный период (октябрь–март) на прямую радиацию приходится лишь 10–17% и на рассеянную 23–31% от годовых сумм.

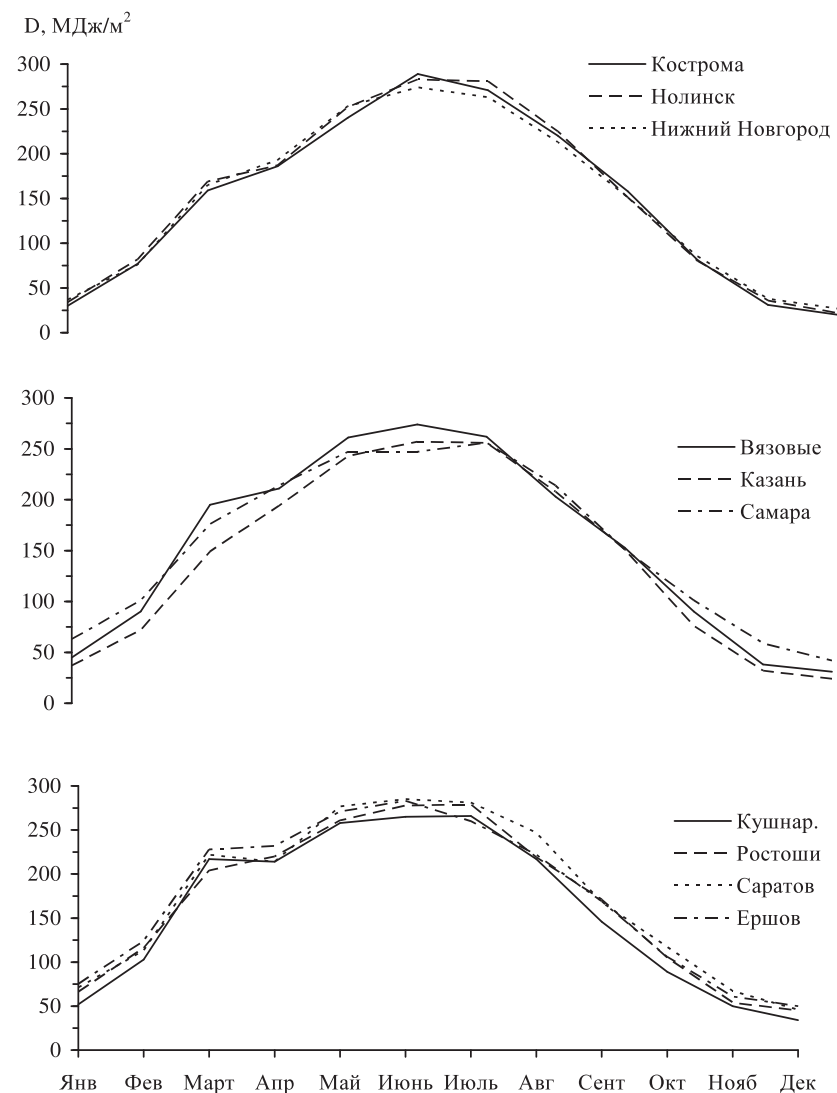
Таблица 4.2

Месячные и годовые суммы рассеянной радиации при ясном небе (МДж/м²)

Ме- сяцы	Пункты							
	Кост- рома	Нолинск	Нижн. Новгород	Вязовые	Самара	Рос- тоши	Саратов	Ершов
Янв.	34	34	29	57	55	71	59	59
Фев.	59	63	59	71	84	80	84	84
Март	104	109	105	126	117	138	130	130
Апр.	117	143	138	138	138	138	143	134
Май	155	155	163	168	155	148	147	147
Июнь	157	163	168	180	172	148	143	155
Июль	180	180	159	176	176	148	168	163
Авг.	130	138	130	138	151	143	143	143
Сент.	75	92	84	109	113	105	92	105
Окт.	50	63	75	59	75	42	75	75
Нояб.	34	38	42	38	50	46	50	46
Дек.	25	29	25	29	25	46	34	50
Год	1123	1207	1177	1291	1366	1282	1265	1291

В целом за год суммы тепла за счет прямой и рассеянной радиации при действительном состоянии облачности, почти равны. Годовые суммы рассеянной радиации в Северной части Среднего Поволжья не уступают годовым суммам прямой солнечной радиации. В центре и на юге рассматриваемой территории суммы прямой солнечной радиации незначительно превышают суммы рассеянной.

Под влиянием облачности поток рассеянной радиации по сравнению с безоблачным небом, как правило, довольно значительно увеличивается. При ясном небе рассеянная радиация оказывается намного меньше, чем при действительных условиях облачности. Исключения составляют облака нижнего яруса (слоистые и слоисто-кучевые) при малых высотах солнца ($h_{\odot} > 10-15^{\circ}$). Наибольших значений поток рассеянной радиации достигает при облаках среднего (высоко-слоистые) и верхнего ярусов.

Рис. 4.5. Годовой ход действительных сумм рассеянной солнечной радиации (МДж/м²)

Значительно влияет облачность и на соотношение прямой и рассеянной радиации. Во все месяцы года прямая радиация при ясном небе превышает рассеянную, тогда как при действительно наблюдаемой облачности с сентября по март рассеянная радиация оказывается больше прямой и лишь с апреля по август последняя превышает месячные суммы рассеянной радиации. В целом за год в условиях ясной погоды рассеянная радиация оказывается меньше прямой на 3471 МДж/м², она составляет 26% от прямой радиации. При облачном небе суммы за год прямой и рассеянной радиации почти равны.

Таким образом, облачность значительно снижает поступление прямой радиации (за год примерно на 42% от возможной) и увеличивает (более чем на 30%) рассеянную радиацию. В результате — при действительно наблюдавшейся облачности — суммарная радиация в целом за год составляет 3345–4507 МДж/м², а при ясном в среднем на 52,5% больше — 5479–6423 МДж/м².

Таблица 4.3

Отношение месячных сумм прямой радиации к суммарной (%)

Станции	Месяцы												Год
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
Кострома	25	28	38	52	53	54	52	51	39	30	30	15	48
Нолинск	25	27	42	50	56	55	52	53	44	27	24	23	49
Н. Новгород	20	31	41	51	56	56	56	56	47	34	25	7	50
Вязовые	24	32	35	52	55	57	57	58	47	34	30	22	50
Казань	26	35	44	51	56	58	57	57	47	34	30	23	52
Кушнаренково	23	35	34	54	55	57	58	54	51	40	31	25	51
Самара	29	40	45	54	61	63	61	60	56	45	39	33	56
Ростоши	25	33	34	52	54	57	56	59	53	45	30	27	51
Саратов	29	40	41	54	58	59	58	56	57	44	41	27	53
Ершов	31	39	35	54	57	59	63	61	58	51	34	30	54

В течение года вклад рассеянной и прямой радиации в суммарную изменяется. Так при действительно наблюдаемой облачности в период с ноября по январь включительно (табл. 4.3) вклад прямой радиации в суммарную составляет (в среднем по всей территории Среднего

Поволжья) 21–31%, далее повышается, однако с апреля по август остается на уровне 50–60%, причем в различных пунктах он оказывается наибольшим в разные месяцы года. В целом же за год суммарная радиация складывается практически из равного участия (48–54%) прямой и рассеянной радиации.

При ясном небе это соотношение изменяется: в течение всего года вклад прямой радиации в суммарную намного значительнее, чем при облачном небе, в декабре — январе он превышает 50%, а в остальное время года оказывается выше 65%. Таким образом, если при реально наблюдающейся облачности суммарная радиация формируется зимой главным образом за счет рассеянной и прямой, то при ясном небе во все месяцы за счет прямой радиации.

В годовом ходе максимум суммарной радиации, приходится на июнь и равен 584–695 МДж/м² (рис. 4.6). В декабре суммарная радиация наименьшая в году, 23–74 МДж/м². Подобно прямой радиации, для суммарной радиации характерно резкое возрастание месячных сумм от февраля к марту, а также уменьшение их от августа к сентябрю.

Приходя на земную поверхность, солнечная радиация (прямая и рассеянная) поглощается ею в той или иной степени в зависимости от альбедо поверхности. Изменчивость альбедо достигает почти двух порядков величины: от нескольких % до почти 90%. Наблюдения показывают (Пивоварова, 1977; Переведенцев, Николаев, 2002; Радиационный режим..., 1961), что альбедо всех поверхностей (исключение составляет снег) изменяются в узких пределах (10–30%), альбедо снежной поверхности изменяется в очень широких пределах — от 96% (сухой свежеснеженный снег) до 20–30% (грязный влажный снег).

Альбедо зависит от высоты солнца над горизонтом — с ростом высоты альбедо уменьшается. Альбедо в ясную погоду меньше чем при сплошной облачности. Это объясняется многократным отражением между поверхностью и нижней границей облаков (Кондратьев, 1954).

Альбедо естественных поверхностей, встречающихся на рассматриваемой территории, весьма разнообразно. В течение летнего периода (рис. 4.7) альбедо несколько изменяется, увеличиваясь, как правило, для большинства поверхностей с мая (когда поверхность земли и кроны деревьев не полностью покрыты зеленью) к сентябрю (когда указанные поверхности заметно желтеют).

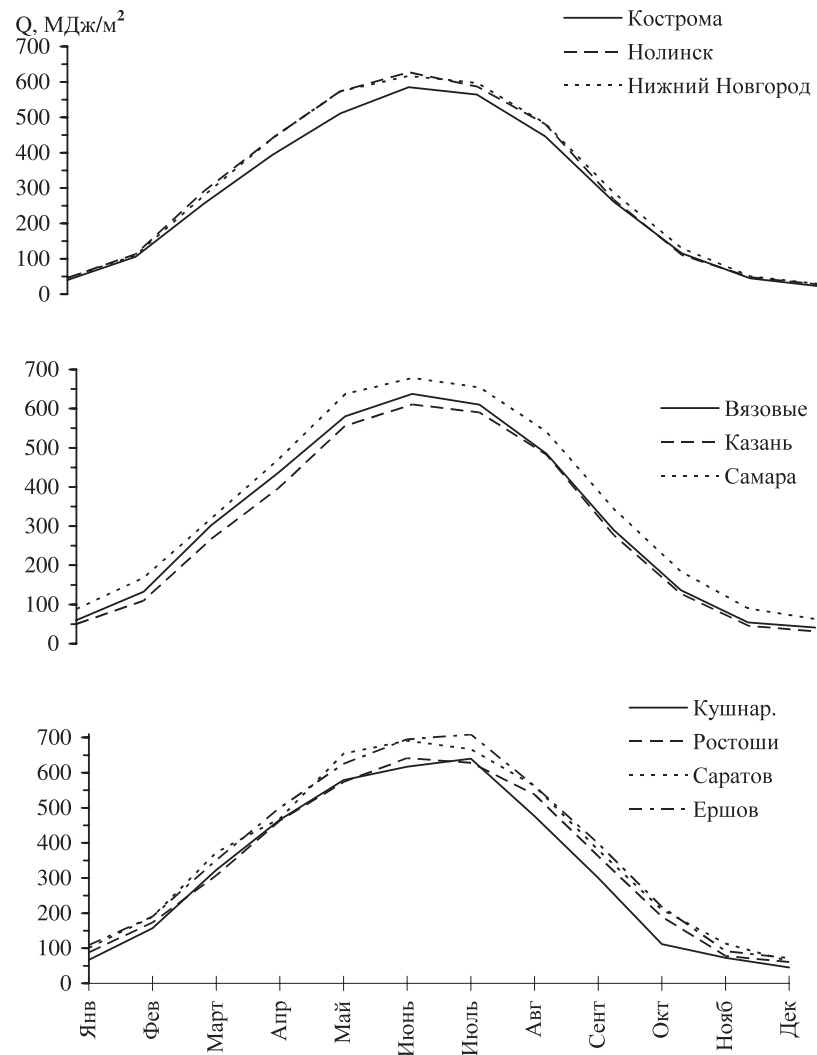


Рис. 4.6. Годовой ход действительных сум суммарной солнечной радиации (МДж/м²)

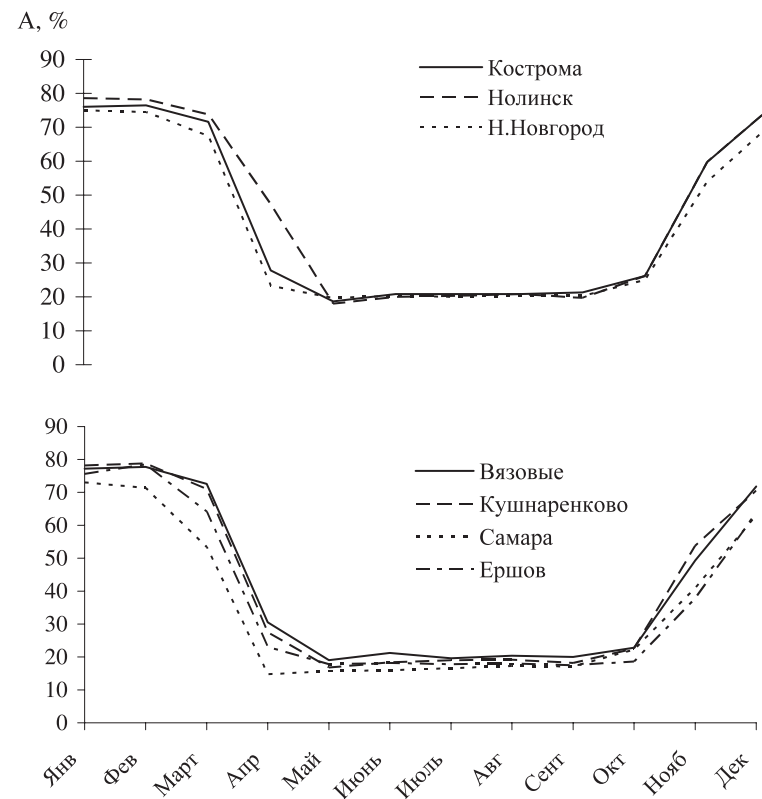


Рис. 4.7. Годовой ход альbedo подстилающей поверхности (%)

В период со снежным покровом (декабрь—март) альbedo устойчиво и мало изменяется по территории для открытых мест. Альbedo снежного покрова в начале зимы в среднем равно 50–60%, увеличиваясь к январю—февралю до 70–80%.

В суточном ходе суммарной радиации, подобно ее составляющим (прямой и рассеянной радиации), максимум приходится на срок 12 час. 30 мин.

В весенние и осенние месяцы значение альbedo сильно варьируют по территории и во времени (от дня ко дню), что связано в основном с наличием или отсутствием снежного покрова и его состоянием.

Первый снежный покров появляется чаще всего в октябре, но быстро тает. Устойчивый снежный покров образуется в ноябре — начале декабря.

В соответствии с этим среднее месячное альбедо в октябре составляет 18–26%, в ноябре — 37–59%. Наибольшей высоты снежный покров достигает в конце февраля и начале марта на юге, в первой и второй декадах марта — на севере. Альбедо в марте несколько уменьшается по сравнению с февралем (в связи с уплотнением снега), но все же остается повсеместно высоким, 64–78%. Наименьшее альбедо в марте отмечается в крупных населенных пунктах (Саратов, Самара), наибольшее на станциях, значительно удаленных от крупных населенных пунктов. Разрушение устойчивого снежного покрова происходит в апреле, на юге — в первой декаде, на севере — в третьей декаде (Колобов, 1968). Поэтому среднее месячное альбедо деятельной поверхности в апреле заметно снижается по сравнению с мартом и составляет 47% на севере и 23% на юге (для Самары 14%).

В сумме за год на рассматриваемой территории деятельной поверхностью отражается 25–30% приходящей коротковолновой радиации.

Как отмечалось ранее городские условия оказывают влияние на альбедо естественных поверхностей, находящихся в черте города. Так, альбедо метеорологических площадок в Саратове и Самаре в зимние месяцы меньше, чем на станциях, расположенных в небольших населенных пунктах. Разница в значениях альбедо может достигать 10–15%.

В отдельные годы могут быть значительные отклонения альбедо от средних величин, приведенных выше. В связи с этим в значениях поглощенной радиации наблюдаются колебания от года к году как за счет изменения прихода радиации, так и за счет изменения отражательных свойств поверхности.

На долю радиационного баланса на большей части территории приходится 40–45% суммарной радиации. Средний годовой радиационный баланс в регионе составляет 1359–1983 МДж/м². Период с положительным радиационным балансом составляет на большей части территории 8 месяцев, а на севере 7 месяцев.

Переход радиационного баланса от отрицательных значений к положительным происходит в марте (на севере) и в феврале (на остальной части территории) (рис. 4.8).

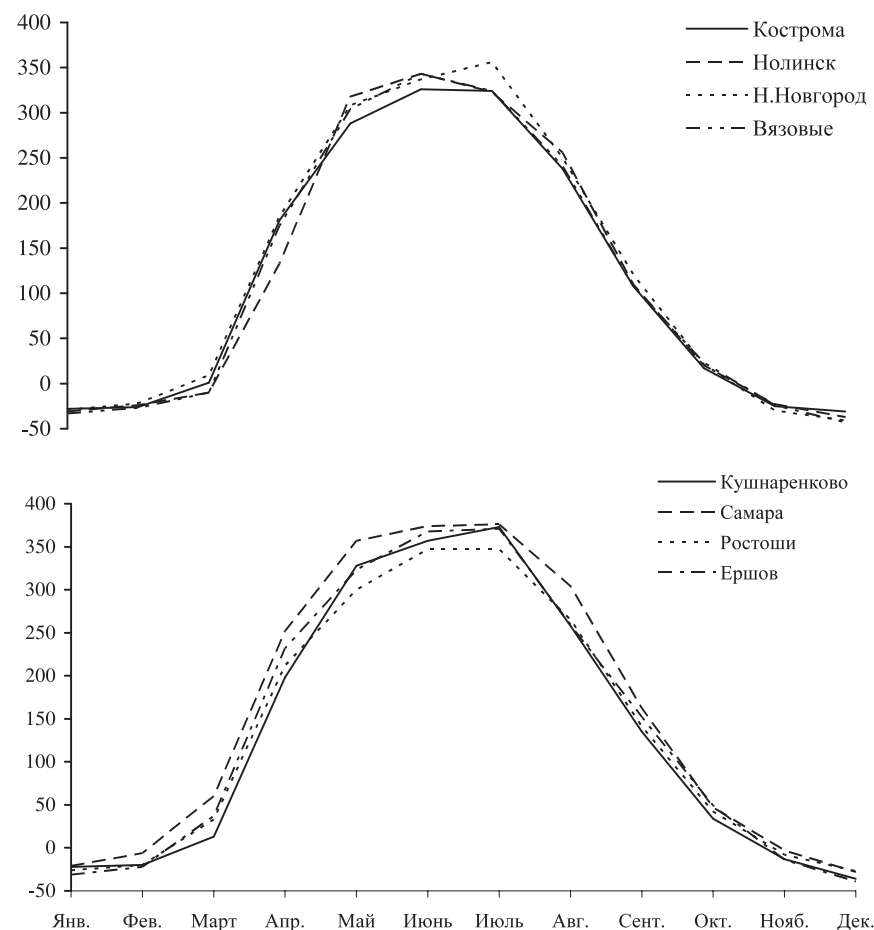


Рис. 4.8. Годовой ход радиационного баланса (МДж/м²)

Смена знака радиационного баланса осенью отмечается в третьей декаде октября. В отдельные годы в зависимости от залегания снежного покрова может быть сдвиг времени перехода радиационного баланса через нуль. Максимальная сумма радиационного баланса наблюдается в июне 325–404 МДж/м², однако и в соседние месяцы, мае и июле, радиационный баланс имеет значения близкие к максималь-

ным (287–364 МДж/м² – май, 324–399 МДж/м² – июль). В эти три месяца на долю радиационного баланса приходится 52–58% месячных сумм суммарной радиации. К осени, наряду со снижением прихода солнечной радиации, уменьшается и доля радиационного баланса: в августе он равен 237–303 МДж/м², в сентябре – 108–192 МДж/м². В октябре в связи с увеличением альбедо поверхности и дальнейшим снижением прихода суммарной радиации происходит резкое изменение соотношения месячных сумм баланса – он составляет всего 14 – 30% от суммарного прихода коротковолновой радиации. Наибольший отрицательный баланс отмечается в декабре и чуть меньше в январе. В эти месяцы он достигает величины -21 – -54 МДж/м². Сумма радиационного баланса за весь период, когда он отрицателен, в среднем составляет -25 МДж/м². В отдельные годы и месяцы могут наблюдаться отклонения от описанного режима радиационного баланса в зависимости от сочетания суммарной радиации, эффективного излучения (определяемых главным образом облачностью и альбедо поверхности). Максимальные суммы радиационного баланса могут превосходить величины, указанные выше.

Суточный ход значений потоков солнечной радиации и радиационного баланса определяется прежде всего изменением высоты солнца в течение дня. Поэтому максимум солнечной радиации при наличии облачности или при ясном небе наблюдается в полдень. Наряду с этим на ход радиации оказывает влияние прозрачность атмосферы, что заметно проявляется в условиях ясного неба (особенно в летнее время). Обычно в летнее время в первую половину дня атмосфера более прозрачна, чем во вторую, что связано с увеличением во вторую половину дня запыленности атмосферы вследствие сильно развитой конвекции и увеличения абсолютной влажности. Поэтому изменения радиации в течение дня несимметричны относительно полудня.

За последние годы заметно возрос спрос на актинометрическую информацию при решении ряда прикладных задач и теоретических исследований. Для полноценного удовлетворения запросов практики, особенно при планировании, когда требуется климатический прогноз, необходимо знать не только средние величины показателей радиационного режима, но и закон их распределения и тенденции в многолетнем изменении климата.

Изменения в условиях циркуляции атмосферы и, следовательно, облачности приводят к изменчивости в прямой, рассеянной и суммарной радиации. По данным станций Среднего Поволжья, среднее квадратическое отклонение месячных значений суммарной радиации достигает наибольших значений в период май – июль. Наименьшая изменчивость суммарной радиации свойственна периоду с ноября по февраль. Результаты выполненных расчетов показали, что изменчивость суммарной и рассеянной солнечной радиации возрастает, как правило, от зимы к лету. Это определяется в первую очередь влиянием астрономических факторов – увеличением абсолютных значений в связи с ростом полуденной высоты Солнца и продолжительностью дня (Берлянд, 1961).

Максимальные величины среднего квадратического отклонения месячных сумм радиации (междугодовая изменчивость) наблюдаются летом и составляют 60–115 МДж/м² для прямой и суммарной радиации и 25–40 МДж/м² для рассеянной радиации. Зимой значения среднего квадратического отклонения месячных сумм радиации составляет 4–17 МДж/м² для прямой и суммарной радиации, 15–21 МДж/м² для рассеянной радиации.

Весной значения среднего квадратического отклонения равны 21–70 МДж/м² для прямой и суммарной радиации. Осенью эти значения несколько меньше – 10–50 МДж/м².

Коэффициент вариации C_v позволяет сравнить междугодовую изменчивость месячных сумм радиации с изменчивостью других метеорологических величин. Наибольшей относительной изменчивостью отличается прямая радиация – 25–35% зимой и 15–20% летом на большей части территории Среднего Поволжья. Аналогичные значения изменчивости характерны для продолжительности солнечного сияния. Коэффициент вариации месячных сумм суммарной и рассеянной радиации летом составляет 8–12%. Зимой относительная величина изменчивости суммарной радиации увеличивается до 15–30% (Берлянд, 1985). Коэффициент асимметрии радиационных показателей во многих случаях достигает значений 0,6–1,0 и даже превышает 1,0.

5. Барико-циркуляционный режим атмосферы

5.1. Циркуляционные факторы климата

Погода и климат любого района Земли в большой степени определяются атмосферной циркуляцией — системами воздушных течений, охватывающих значительные по площади географические районы и связывающих условия погоды и климата на очень больших расстояниях. Благодаря циркуляции атмосферы радиационный режим, процессы теплообмена и влагообмена каждой территории оказываются под существенным воздействием окружающего его пространства.

На территории восточных районов Европейской части РФ довольно хорошо проявляется основная черта планетарной циркуляции атмосферы — преобладание западного переноса воздуха в тропосфере и нижней стратосфере (до высоты 15–17 км). Это обуславливает существенное влияние на местный климат атлантических воздушных течений, которые смягчают и увлажняют его, несмотря на значительную удаленность территории от океана. Вместе с тем сюда поступают и воздушные массы, сформировавшиеся в других, в том числе и резко континентальных, районах и обладающие специфическими термометрическими свойствами (Колобов, 1968).

«Очагами формирования» воздушных масс, вторгающихся в Поволжье и Предуралье по различным направлениям, являются следующие районы: 1) Земля Франца-Иосифа, Новая Земля — для северных вторжений; 2) Шпицберген, восток Гренландии — для северо-западных; 3) северная Атлантика (к югу от Исландии и к западу от Ирландии) — для западных; 4) притропическая Атлантика (30–50° с.ш., 10–40° з.д.), север Африки, Средиземное море — для юго-западных; 5) север Аравии, Иранское нагорье — для южных; 6) Казахстан, Средняя Азия — для

юго-восточных; 7) районы верхнего и среднего течения Енисея — для восточных; 8) Таймыр, Карское море — для северо-восточных.

По северо-восточным, северным и северо-западным траекториям входит холодный воздух арктического происхождения. Иногда он поступает на изучаемую территорию с юго-востока, пройдя по территории Западной Сибири и обогнув с юга Уральские горы. С юга и юго-запада, а летом и с юго-востока, обычно приходит тропический воздух, обуславливающий резкие потепления, вплоть до оттепелей, зимой и жаркую иногда «суховейную» погоду летом. Из районов Атлантики, как отмечалось, поступает морской воздух умеренных широт, несущий неустойчивую с осадками погоду и вызывающий некоторое похолодание весной и летом и заметное потепление осенью и зимой. Из районов Сибири зимой вторгается холодный континентальный воздух умеренных широт, приводящий к установлению малооблачной морозной погоды. Теплый континентальный воздух умеренных широт формируется лишь в теплое время года в Европе и Азии; например, весной и осенью он сравнительно часто образуется в районах Казахстана и балканских стран. Наибольшей повторяемостью в течение года характеризуются вхождения воздуха с запада, наименьшей — с северо-востока. В целом же западные и юго-западные потоки преобладают, поэтому климат Среднего Поволжья менее континентальный, чем к востоку и юго-востоку (Колобов, 1968).

Воздушные массы, смещающиеся на данную территорию в системе атмосферной циркуляции, испытывают трансформационные изменения в процессе движения. Характер и величина изменения основных параметров воздушных масс за время передвижения из «очагов формирования» зависят от траектории и скорости их движения, времени года и многих других причин. Так, воздушные массы, приходящие по северным и северо-восточным траекториям, прогреваются во время движения в среднем на 2–3°С за сутки весной и летом и на 1,5–2°С осенью и зимой. Воздушные массы, вторгающиеся по южным и юго-западным траекториям, выхолаживаются летом на 1–1,5°С, зимой на 2–3°С за сутки. Западные и северо-западные массы летом прогреваются, а зимой выхолаживаются примерно на 1–3°С за сутки. Восточные потоки несколько прогреваются зимой, а юго-восточные — охлаждаются летом (на 0,5–1,0°С за сутки).

Под влиянием местных условий процессы трансформации продолжаются, и в случае ослабления внешних воздействий пришедшая воздушная масса превращается в так называемую «местную» воздушную массу, приобретая свойства данного географического района. Температура в местной воздушной массе летом выше, а зимой ниже средней климатологической температуры, то есть в ней усиливаются континентальные черты погоды и климата.

На формирование погоды и климата большое влияние оказывают циклонические и антициклонические формы движения атмосферы. Они обуславливают как зональные, так и меридиональные движения воздушных масс. При этом циклоны, вовлекая в свои системы различные по тепловым и влажностным свойствам воздушные массы, способствуют развитию конденсационных процессов, образованию облачности и осадков. Антициклоны, наоборот, ослабляют конденсационные процессы, разрушают облачность. Циклоны сопровождаются обычно быстрыми и резкими изменениями погоды с сильно развитой облачностью, осадками, порывистыми ветрами. В антициклонах господствует более спокойная малооблачная погода.

Повторяемость циклонических процессов в Среднем Поволжье составляет в среднем за год 173 дня (47%), антициклонических — 192 дней (53%), причем на «местные» циклонические процессы приходится 26 дней, на антициклонические — 17. Наибольшее влияние на климат оказывают западные, северо-западные, юго-западные циклоны и местный циклогенез, а также антициклоны северо-западного происхождения (Климат Казани, 1990).

Повторяемость различных барических образований и их соотношение в течение года меняется. При этом западные циклоны в 24–25% случаев преобладают в переходные периоды, северо-западные в 23–24% — осенью и зимой, юго-западные и местные циклоны в 22–24% — летом. Северо-западные и западные антициклоны в 24–25% случаев обуславливают погоду области весной, а местные — в теплое время года (Климат Кирова, 1982).

Известно, что перед Уралом циклоны и антициклоны замедляют свое движение. Циклоны при этом смещаются в среднем со скоростью 39–44 км/ч, но в отдельных случаях скорости бывают значительно выше. Антициклоны движутся медленнее — от 18 до 36 км/ч. При

этом быстрее обычного смещаются юго-западные, северные и северо-западные циклоны. Антициклоны с большей скоростью выходят с северо-запада и медленнее с востока. Северо-западные и юго-западные процессы, проходя быстрее и активнее, обуславливают более резкие изменения в погоде.

Адвективно-циркуляционные процессы в период с октября по март в среднем обуславливают повышение температуры воздуха в данном районе, с апреля по сентябрь — понижение ее. Решающее влияние они оказывают также и на режим влажности и атмосферных осадков.

К циркуляционным особенностям последних лет, наряду с вышеизложенным можно отнести: во-первых — более часто повторяющуюся широкомасштабность атмосферных процессов, захватывающих огромные территории Европейской части России; во вторых — увеличение продолжительности до 4–6 естественных синоптических периодов одной и той же формы циркуляции; в третьих — увеличение повторяемости западной формы циркуляции; в четвертых — увеличение повторяемости опасных явлений погоды (Переведенцев и др., 2010).

Эти особенности атмосферной циркуляции оказывают существенное влияние на изменение климатических параметров.

5.2. Атмосферное давление

Пространственное распределение атмосферного давления (барическое поле) представляется, как известно, изобарическими поверхностями и изобарами. На климатологических картах изобары проводятся для уровня моря по средним значениям давления за отдельные месяцы. При этом давление, наблюдаемое на метеорологических станциях, расположенных на разной высоте, приводится к уровню моря по барометрической формуле. В приземном слое оно уменьшается примерно на 1 гПа (0,75 мм рт. ст.) при поднятии на 8 м.

По густоте расположения изобар на картах можно судить об особенностях изменения давления в горизонтальном направлении. Неравномерность в распределении давления определяется причинами термического и динамического характера, которые действуют совместно и определяют наблюдаемое в действительности распределение

давления. Над холодными поверхностями создаются условия, благоприятные для повышения давления вблизи земной поверхности, а над нагретыми наоборот — для понижения. Действие динамических факторов проявляется в нагнетании воздуха и повышении давления в одних районах и оттоке воздуха и понижении давления в других.

Замкнутые барические области высокого и низкого давления на ежегодных и многолетних климатологических картах, называемые климатологическими центрами действия атмосферы, оказывают большое влияние на преобладающие воздушные течения, а следовательно, и климат на значительных территориях. Некоторые из них существуют круглый год, усиливаясь или ослабевая в разные сезоны, другие — существуют в определенных районах в теплое, либо в холодное время года. Кроме того, на картах изобар можно видеть, что горизонтальные градиенты давления зимой значительно больше, чем летом, что обуславливает повышенный уровень скоростей воздушных течений.

На формирование климата Среднего Поволжья существенное влияние оказывают воздушные течения, связанные с перифериями следующих центров действия атмосферы: Исландского минимума, Азиатского (Сибирского) и Азорского максимумов. Структура барического поля над данной территорией и смежных с ней районах в различные сезоны характеризуется определенным преобладающим направлением изобар. Зимой и в среднем за год изобары направлены с запада-юго-запада на восток-северо-восток, весной — преимущественно с запада на восток. Летом изобары проходят примерно с севера на юг, а осенью барическое поле перестраивается и постепенно приобретает зимнюю структуру (Климат России, 2001; Климат Татарской АССР, 1983; Колобов, 1968).

На территории Среднего Поволжья средние многолетние значения (1966–2004 гг.) атмосферного давления, приведенного к уровню моря по данным 21 станции с октября по март, меняются в пределах 6,0–8,6 гПа, а с мая по август — 0,8–1,2 гПа, т.е. значительно меньше (табл. 5.1).

В годовом ходе наибольшие его значения отмечаются в холодный период, наименьшие в теплый. Так, среднее месячное давление меняется от 1016,8–1023,0 гПа в феврале–марте до 1010,6–1011,8 гПа в июле; амплитуда его годового хода составляет 5,7 гПа на севере тер-

Таблица 5.1

Атмосферное давление (гПа) на уровне моря (1966–2004 гг.)
(Н — высота станции над уровнем моря в метрах)

Станции	Н	Месяцы												Год	Амп.
		I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII		
Дальск	85	1015,8	1017,0	1016,8	1015,5	1015,0	1011,3	1011,4	1012,4	1013,7	1012,6	1015,7	1013,5	1014,2	5,7
Кирс	168	1017,8	1019,0	1018,7	1016,6	1014,9	1011,1	1011,0	1012,5	1014,2	1014,6	1017,8	1016,6	1015,4	8,0
Шабалино	166	1017,9	1019,1	1019,0	1016,8	1015,7	1011,8	1011,8	1013,3	1014,9	1015,4	1017,9	1016,5	1015,8	7,3
Киров, АМСГ	143	1017,3	1018,8	1019,0	1016,4	1015,0	1011,0	1011,0	1012,6	1014,4	1015,0	1017,5	1016,6	1015,4	8,0
Яранск	103	1018,1	1019,3	1019,2	1016,6	1015,3	1011,2	1011,1	1012,8	1014,6	1015,6	1018,2	1016,9	1015,7	8,2
Кильмезь	116	1017,6	1019,5	1020,5	1017,9	1015,1	1011,0	1011,2	1012,4	1014,6	1016,6	1019,6	1017,5	1016,1	9,5
Глазов	168	1019,0	1020,2	1019,9	1017,4	1015,1	1011,1	1011,0	1012,7	1014,8	1015,6	1019,0	1018,1	1016,2	9,2
Ижевск	155	1019,6	1020,9	1021,2	1018,0	1015,2	1011,1	1010,7	1012,7	1015,2	1016,5	1019,8	1019,5	1016,7	10,5
Морки	128	1019,4	1020,6	1020,5	1017,7	1015,7	1011,5	1011,3	1013,2	1015,4	1016,7	1019,5	1018,4	1016,7	9,3
Чебоксары	162	1018,5	1020,0	1019,8	1017,3	1015,4	1011,1	1011,3	1013,1	1015,1	1016,5	1019,3	1017,7	1016,3	8,9
Алатырь	107	1020,0	1020,8	1020,9	1017,6	1015,8	1011,7	1011,5	1013,5	1015,9	1017,8	1020,1	1019,1	1017,1	9,4
Казань	119	1019,1	1020,7	1021,0	1017,7	1015,7	1011,4	1011,0	1013,0	1015,6	1017,1	1019,7	1019,2	1017,9	10,0
Елабуга	90	1020,2	1021,4	1021,2	1018,3	1015,3	1011,1	1010,6	1012,8	1015,6	1017,1	1020,7	1020,0	1015,9	10,8
Чистополь	106	1018,3	1020,5	1021,6	1018,2	1015,4	1011,3	1011,3	1012,7	1015,2	1018,0	1021,0	1019,0	1016,0	10,3
Чулпаново	78	1020,8	1022,1	1022,3	1018,4	1015,9	1011,6	1011,1	1013,3	1016,1	1018,3	1021,5	1020,8	1016,5	11,2
Бугульма	311	1021,0	1022,2	1022,4	1018,5	1015,6	1011,3	1010,7	1013,0	1016,0	1018,1	1021,7	1020,8	1016,4	11,7
Ульяновск	170	1018,4	1020,5	1021,7	1017,9	1015,8	1011,5	1011,2	1013,0	1015,7	1018,5	1021,3	1019,2	1016,0	10,1
Каналей	108	1020,6	1022,1	1021,9	1017,7	1015,7	1011,5	1011,0	1013,4	1016,3	1018,8	1021,4	1020,7	1015,8	11,1
Серноводск	112	1021,1	1022,3	1022,4	1018,4	1015,7	1011,4	1010,8	1013,2	1016,2	1018,6	1021,8	1021,3	1017,8	11,6
Самара	136	1021,4	1022,5	1022,5	1018,4	1015,9	1011,5	1011,0	1013,3	1016,4	1019,1	1021,9	1021,5	1018,0	11,5
Анаград	90	1021,9	1023,0	1022,9	1018,5	1015,8	1011,3	1010,6	1013,1	1016,6	1019,5	1022,6	1022,1	1018,2	12,4
Среднее		1019,2	1020,6	1020,7	1017,6	1015,5	1011,3	1011,1	1013,0	1015,4	1017,0	1019,9	1018,8	1016,3	9,8
Максимум		1021,9	1023	1022,9	1018,5	1015,9	1011,8	1011,8	1013,5	1016,6	1019,5	1022,6	1022,1	1018,2	12,4
Минимум		1015,8	1017	1016,8	1015,5	1014,9	1011	1010,6	1012,4	1013,7	1012,6	1015,7	1013,5	1014,2	5,7
Разность		6,1	6,0	6,1	3,0	1,0	0,8	1,2	1,1	2,9	6,9	6,9	8,6	4,0	6,7

ритории и 12,4 гПа – на юге. Среднее годовое давление равно 1014,2–1018,2 гПа.

В отдельные годы средние месячные значения давления могут существенно отклоняться от «нормы» как в одну, так и в другую сторону, что свидетельствует соответственно о преобладании циклонической или антициклонической погоды в данном конкретном месяце этого года. Так, за исследуемый период наибольшее среднее значение давления наблюдалось в феврале 1984 г. на ст. Ульяновск и составило 1045,8 гПа, что оказалось выше нормы на 25,3 гПа. Наименьшее же его значение было отмечено в ноябре 1983 г. на ст. Лальск – 1000,7 гПа, что ниже нормы на 15,0 гПа.

Амплитуда колебаний среднего давления в зимние месяцы составляет 27–39 гПа, а в летние – 9–14 гПа, что примерно в три раза меньше. Амплитуда колебаний средних годовых значений давления равна 8–12 гПа. Наибольшие средние квадратические отклонения (σ) месячного давления отмечаются в январе–феврале, изменяясь в пределах 7,0–8,6 гПа, наименьшие в июле–августе – 2,0–2,8 гПа; для года оно составляет 1,8–2,5 гПа.

Межгодовые изменения атмосферного давления за исследуемый период происходили на фоне низкочастотных его колебаний с периодичностью в несколько лет. Прослеживаются также слабые тренды падения давления в зимние месяцы (январь, февраль), что подтверждается соответствующими трендами роста температуры воздуха, обусловленными преобладанием циклонических процессов, особенно в последние годы (рис. 5.1).

Экстремально максимальные и минимальные значения давления, взятые из наблюдений в отдельные сроки, характеризуются значительно большими амплитудами колебания. С октября по март они могут достигать 85–100 гПа, тогда как с мая по сентябрь их значения меняются в пределах 45–60 гПа. В отдельные дни зимой максимумы давления на уровне моря в стационарных антициклонах могут достигать значений 1055–1060 гПа. При прохождении же глубоких циклонов давление может опуститься до 950–955 гПа. В летние месяцы, по сравнению с зимними, значения максимального давления в антициклонах значительно меньше – 1020–1025 гПа, а минимального в циклонах – больше, около 965–970 гПа.

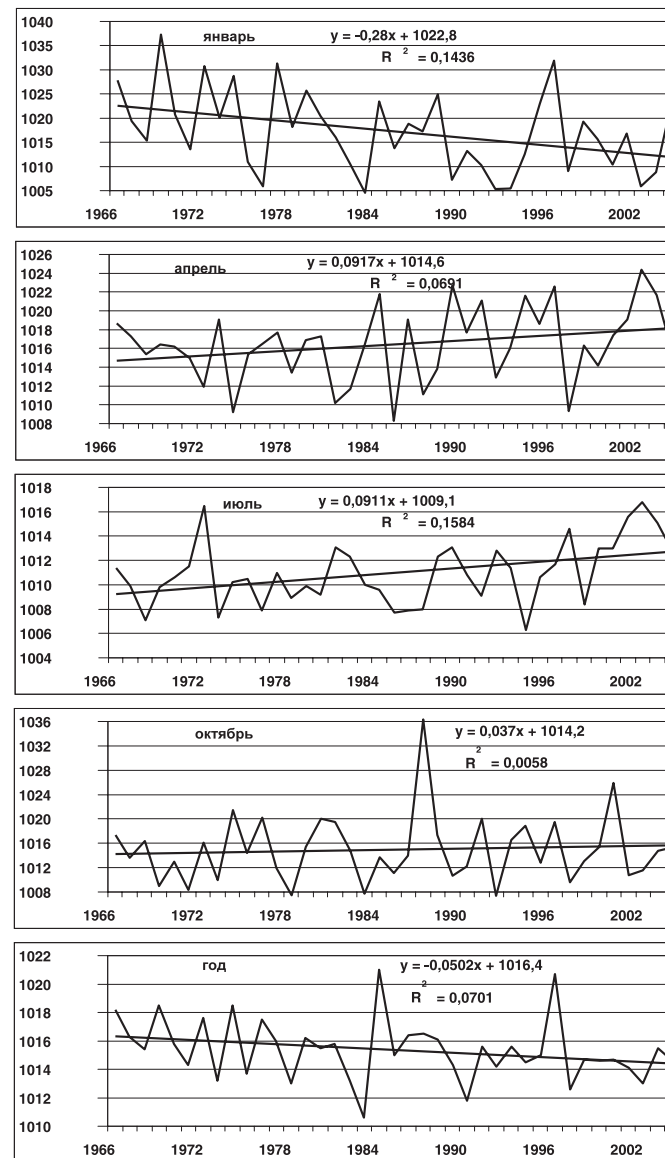


Рис. 5.1. Межгодовые изменения и линейные тренды атмосферного давления (гПа) на уровне моря на ст. Киров, АМСГ

В суточном ходе атмосферное давление меняется незначительно. При этом максимум давления обычно приходится на ночные или утренние часы, когда воздух наиболее холодный и плотный. Минимум же чаще бывает в послеполуденные часы, когда плотность воздуха уменьшается при повышенных его температурах. Среднесуточная амплитуда, полученная по данным за отдельные месяцы, находится в пределах 0,2–0,6 гПа с сентября по февраль и 0,5–1,3 гПа с марта по август. Амплитуда же суточного хода среднего квадратического отклонения атмосферного давления примерно в два-три раза меньше (0,1–0,5 гПа).

Изменение атмосферного давления от суток к суткам обычно составляет несколько гектопаскалей. Однако при резкой смене барических образований с октября по апрель его наибольшие межсуточные изменения могут достигать 18–28 гПа, тогда как с мая по сентябрь лишь 10–16 гПа.

Как было установлено, быстрые и существенные изменения атмосферного давления (более чем на 10 гПа за сутки) неблагоприятно сказываются на состоянии здоровья людей, особенно страдающих сердечно-сосудистыми заболеваниями. Поэтому необходимо, чтобы службы погоды своевременно информировали медицинские учреждения и население о возможном резком изменении давления воздуха с целью принятия соответствующих превентивных мер.

5.3. Направление и скорость ветра

Направление ветра

Ветровой режим в основном определяется сезонными особенностями структуры барического поля согласно барическому закону ветра, а также формой рельефа, характером подстилающей поверхности и открытостью места установки приборов. В среднем за год по данным 21 станции за 1966–2004 гг. преобладающим направлением ветра для четверти горизонта на территории Среднего Поволжья является юго-юго-западное, его вероятность составляет около 35%. При этом, по восьмирумбовой шкале повторяемость южного направления ветра составляет около 18%, а юго-западного и западного по 17% (табл. 5.2).

Таблица 5.2

Повторяемость (%) направлений ветра и штилей за год (1966–2004 гг.)

Станции	Штиль	ССВ	СВ	ВСВ	В	ВЮВ	ЮВ	ЮЮВ	Ю	ЮЮЗ	ЮЗ	ЗЮЗ	З	ЗСЗ	СЗ	ССЗ	С
Лалыск	17	4,0	3,0	2,9	5,2	6,6	5,8	7,9	7,1	7,2	8,5	10,9	9,1	6,4	5,0	5,3	5,5
Кирс	12,8	4,0	5,2	4,1	4,0	2,8	3,1	7,0	14,5	11,3	7,9	7,0	7,8	5,8	4,9	4,6	6,0
Шабалино	3,8	3,3	2,8	3,6	5,2	5,8	5,9	8,2	8,8	7,5	6,4	7,9	9,1	6,8	5,0	7,4	6,3
Киров, АМСГ	5,6	2,8	2,8	3,4	5,0	5,9	4,5	8,1	8,9	7,5	7,8	10,1	10,2	7,9	4,4	5,9	4,8
Яранск	19,8	4,3	3,5	2,6	3,2	3,6	3,4	7,8	12,7	12,7	9,2	6,9	7,0	5,7	5,4	6,5	5,7
Кильмезь	4,5	2,9	2,7	4,0	5,0	4,7	5,0	8,8	11,2	12,9	8,0	8,4	7,4	6,2	4,6	4,7	3,7
Глазов	7,3	2,6	3,5	3,7	6,7	7,1	5,3	4,4	6,5	8,6	9,9	10,8	13,3	7,4	4,2	2,8	3,3
Ижевск	11,9	4,2	4,3	4,9	3,7	3,5	4,1	8,4	8,9	11,0	9,3	9,7	7,5	6,7	4,5	5,1	4,3
Морки	15,6	5,0	3,3	2,7	3,3	4,9	5,2	9,6	10,0	8,4	6,3	7,9	7,3	6,8	6,2	7,1	6,0
Чебоксары	4,5	3,0	2,2	2,6	2,7	3,2	4,6	8,3	9,6	10,6	8,3	9,4	8,7	8,4	5,6	6,9	6,0
Алатырь	5,5	2,9	2,0	3,7	3,8	4,0	5,8	9,1	10,2	8,8	7,2	8,9	8,6	7,5	5,9	6,8	4,8
Казань	11,8	3,8	3,4	3,0	5,2	4,0	5,6	10,5	12,1	5,9	6,2	6,9	9,5	7,2	5,5	5,0	6,2
Елабуга	15,0	3,7	4,0	4,2	4,0	4,7	4,0	5,4	6,4	8,5	8,8	10,8	10,6	9,7	6,0	5,2	4,3
Чистополь	2,6	3,4	3,8	3,8	3,4	4,0	3,6	8,8	11,4	11,5	6,9	9,2	8,3	6,1	4,5	6,3	5,3
Чуланово	10,3	4,7	6,7	4,3	3,4	2,6	3,7	6,7	9,2	12,0	12,1	5,8	6,1	5,0	7,1	6,3	4,3
Бугульма	12,9	2,8	2,9	2,2	3,1	3,3	4,9	6,8	10,5	12,8	10,8	8,9	10,5	7,9	4,6	3,7	4,4
Ульяновск	8,0	2,2	1,8	2,6	4,3	6,0	2,7	6,0	12,1	11,8	3,8	8,1	13,0	10,2	3,9	6,7	4,9
Каналей	16,3	2,9	3,6	6,3	9,6	6,6	3,7	3,5	3,7	4,7	6,2	11,7	13,6	9,3	6,5	4,6	3,5
Серноволск	10,8	6,2	5,4	2,3	3,3	4,7	13,2	13,9	8,0	6,3	5,2	4,5	5,2	4,5	5,4	5,5	6,4
Самара	4,5	3,6	2,7	4,0	9,4	9,0	5,8	4,1	5,0	5,0	7,3	11,0	10,4	5,2	5,5	5,9	6,1
Авангард	10,6	3,2	2,7	2,8	2,8	4,8	8,9	11,8	11,9	9,1	7,5	6,4	5,3	4,3	4,6	7,5	6,5
Среднее	10,1	3,6	3,4	3,5	4,6	4,8	5,2	7,9	9,5	9,2	7,8	8,6	9,0	6,9	5,2	5,7	5,2
Максимум	19,8	6,2	6,7	6,3	9,6	9,0	13,2	13,9	14,5	12,9	12,1	11,7	13,6	10,2	7,1	7,5	6,5
Минимум	2,6	2,2	1,8	2,2	2,7	2,6	2,7	3,5	3,7	4,7	3,8	4,5	5,2	4,3	3,9	2,8	3,3
Разность	17,2	4,0	4,9	4,1	6,9	6,4	10,5	10,4	10,8	8,2	8,3	7,2	8,4	5,9	3,2	4,7	3,2
Среднее по 8 румбам			6,9		8,8		11,6		18,0		16,7		16,8		11,5		9,8

Преобладание ветров юго-юго-западной четверти горизонта более резко выражено в зимний период (в январе около 43%), когда ось зимнего азиатского максимума давления проходит южнее изучаемой территории, а преобладание западного тропосферного переноса при больших горизонтальных градиентах давления обуславливает большую повторяемость южных и юго-западных ветров с повышенными скоростями (табл. 5.3). Летом перестройка структуры барического поля обуславливает в среднем направление изобар примерно с севера на юг, что приводит к преобладанию повторяемости ветров западно-северо-западной четверти горизонта (34%) при уменьшении частоты юго-западных, южных и юго-восточных ветров (табл. 5.4). Вместе с тем, в летнее время средние значения горизонтальных градиентов давления в тропосфере наиболее низкие, что характеризует наименьшие средние скорости ветра и увеличение частоты штилей. Наибольшая повторяемость штилей в июле наблюдается на ст. Яранск (27,7%), наименьшая – на ст. Чистополь (4,8%).

Основные особенности в режиме направления ветра под влиянием неоднородностей форм рельефа и характера подстилающей поверхности (растительность, гидрография) могут испытывать своеобразные отклонения от средних фоновых значений. В этом отношении определяющими сторонами рельефа оказываются его абсолютная высота, ориентация и крутизна преобладающих уклонов ложбин (долин) и гребней по отношению к господствующим потокам воздуха, а также его расчлененность, воздействие которой проявляется в создании мезо- и микроклиматических различий в направлении и скорости ветра. При этом могут возникать и местные циркуляции: склоновые, стоковые, бризовые, а иногда и феновые ветры.

Так, воздействие холмистого рельефа на ветер наиболее отчетливо прослеживается при антициклонических условиях погоды и небольших скоростях основного потока (Климатология, 1989). Ночью с вершин и склонов охлажденный воздух стекает вниз, что приводит к возникновению термической неоднородности вдоль склонов и скоплению холодного воздуха в бессточных пониженных формах рельефа. В дневное время интенсивный турбулентный обмен приводит к усилению скорости ветра и неустойчивости его направления.

Таблица 5.3
Повторяемость (%) направлений ветра и штилей в январе (1966–2004 гг.)

Станции	Штиль	ССВ	СВ	ВСВ	В	ВЮВ	ЮВ	ЮЮВ	Ю	ЮЮЗ	ЮЗ	ЗЮЗ	З	ЗСЗ	СЗ	ССЗ	С
Лальск	20,7	2,7	1,8	2,2	5,9	8,3	7,4	10,7	7,8	7,3	10,7	11,6	8,0	4,6	3,2	3,7	4,2
Кирс	12,4	2,2	4,4	3,8	3,4	2,9	2,5	10,5	20,1	13,8	9,1	7,1	7,0	6,3	3,3	2,4	3,1
Шабалино	3,2	2,3	2,4	2,6	5,0	6,1	7,2	11,0	10,2	7,6	7,0	9,1	9,7	4,2	4,2	5,0	4,3
Киров, АМСГ	3,8	1,6	2,1	2,6	5,0	6,7	6,4	11,6	11,0	7,3	7,7	10,3	10,2	7,0	3,9	3,8	2,8
Яранск	18,3	4,1	3,4	1,8	2,1	3,7	3,7	9,9	16,7	15,7	10,4	6,5	6,1	4,8	3,8	3,8	3,7
Кильмезь	3,5	2,3	1,6	3,1	4,5	5,4	6,9	12,5	14,7	14,9	9,1	7,0	5,9	4,3	2,5	2,9	2,3
Глазов	6,7	1,0	2,0	2,9	7,6	9,3	7,2	5,5	8,3	9,0	10,9	10,3	13,0	6,7	2,5	1,9	1,8
Ижевск	11,2	3,5	3,8	3,5	3,1	3,9	5,8	12,8	11,5	12,5	9,5	9,1	6,7	5,3	3,1	2,8	2,9
Морки	5,9	4,4	1,5	1,6	2,0	3,8	6,0	13,4	15,9	9,1	4,8	8,9	7,3	6,2	5,4	5,0	4,7
Чебоксары	3,9	2,3	1,6	1,6	1,4	2,0	5,6	12,3	12,2	12,5	9,2	9,3	7,3	7,4	5,8	5,0	4,5
Алатырь	4,4	1,7	1,2	2,9	2,5	3,3	8,5	12,5	12,1	10,6	8,0	10,3	7,9	6,1	5,0	4,5	2,7
Казань	10,2	3,2	2,2	1,8	3,2	2,6	7,1	15,3	16,4	7,4	6,2	6,3	9,0	7,3	4,7	3,3	4,0
Елабуга	19,0	2,7	4,0	3,2	4,0	5,0	4,5	6,8	8,4	11,1	11,0	11,0	9,9	8,4	4,6	2,8	2,7
Чистополь	2,2	1,7	2,6	2,5	2,2	3,5	4,1	12,9	16,7	15,7	7,4	9,5	7,8	4,8	3,0	3,2	2,6
Чуланово	9,0	2,8	6,0	3,9	3,2	2,1	4,2	10,5	14,2	15,7	11,9	5,1	5,0	3,8	5,6	4,2	1,9
Бугульма	11,9	1,0	1,4	1,1	2,0	2,8	6,0	11,1	15,5	17,2	10,8	8,2	9,9	5,9	2,9	2,3	1,9
Ульяновск	5,7	0,8	0,6	1,1	2,8	5,3	2,8	8,5	18,9	16,9	4,5	7,9	11,4	8,0	2,8	4,4	3,3
Каналей	14,9	1,3	2,2	5,6	11,8	9,0	4,9	3,6	3,0	4,3	6,4	13,2	15,3	8,9	5,0	3,4	1,8
Серноволск	11,1	4,2	4,9	1,3	2,1	4,3	18,5	21,2	9,4	6,1	4,6	3,5	4,0	3,3	4,8	5,6	4,5
Самара	4,1	1,6	1,2	3,0	8,9	11,3	8,1	5,5	6,4	6,6	8,2	12,0	8,9	3,3	4,8	3,8	4,2
Авангард	12,0	1,2	0,9	1,0	1,5	3,5	11,3	16,2	16,0	12,6	8,5	6,1	4,3	2,9	3,4	6,0	4,6
Среднее	9,2	2,3	2,5	2,5	4,0	5,0	6,6	11,2	12,6	11,1	8,4	8,7	8,3	5,7	4,0	3,8	3,3
Максимум	20,7	4,4	6,0	5,6	11,8	11,3	18,5	21,2	20,1	17,2	11,9	13,2	15,3	8,9	5,8	6,0	4,7
Минимум	2,2	0,8	0,6	1,0	1,4	2,0	2,5	3,6	3,0	4,3	4,5	3,5	4,0	2,9	2,5	1,9	1,8
Разность	18,5	3,6	5,4	4,6	10,4	9,3	16,0	17,6	17,1	12,9	7,4	9,7	11,3	6,0	3,3	4,1	2,9
Среднее по 8 рубкам			4,9		7,7		14,7		23,8		18,3		15,5		8,8		6,3

Повторяемость (%) направлений ветра и штилей в июле (1966–2004 гг.)

Станции	Штиль	СВ	ВСВ	В	ВЮВ	ЮВ	ЮЮВ	Ю	ЮЮЗ	ЮЗ	ЗЮЗ	З	ЗСЗ	СЗ	ССЗ	С
Лальск	19,5	6,4	5,3	3,7	5,8	5,7	4,9	4,1	3,8	4,2	6,3	9,0	8,3	7,2	8,0	8,2
Кирс	19,6	7,4	7,5	4,8	6,3	3,3	3,7	4,2	8,0	6,0	4,2	4,6	7,9	6,2	7,6	11,6
Шабалино	7,5	5,2	4,4	4,7	6,9	6,6	4,4	5,2	5,7	4,8	4,7	5,3	6,7	6,3	6,2	12,4
Киров, АМСГ	9,7	4,5	4,1	4,8	7,8	7,0	3,9	4,2	4,5	4,5	5,1	7,1	9,0	8,8	6,2	9,9
Яранск	27,7	5,7	5,6	3,9	4,5	4,0	2,7	4,0	7,3	7,6	6,2	5,8	7,1	6,7	9,4	10,5
Кильмезь	7,8	4,6	3,3	5,7	7,0	5,6	3,1	4,6	7,2	8,3	6,4	8,0	8,4	9,3	6,6	5,4
Глазов	13,2	5,1	6,4	5,2	8,5	6,0	4,5	2,7	4,0	4,4	5,7	8,1	13,4	8,7	6,6	4,4
Ижевск	19,0	6,6	6,2	7,1	5,5	4,4	2,7	4,4	4,8	6,4	5,3	6,9	8,0	8,5	6,7	8,9
Морки	21,3	7,3	5,9	4,7	4,6	5,0	4,0	5,5	5,2	5,3	4,0	6,6	6,6	6,7	8,6	11,6
Чебоксары	8,3	4,2	3,3	3,8	4,5	4,6	3,4	4,9	5,6	7,2	5,6	7,4	8,6	9,3	8,1	10,9
Алатырь	8,2	4,4	3,3	5,5	5,5	4,1	3,6	4,9	5,9	5,9	5,0	7,6	9,1	9,4	8,3	10,3
Казань	18,0	5,1	5,9	4,1	7,8	4,4	4,8	5,9	6,6	3,7	4,1	5,8	8,8	7,9	7,4	7,5
Елабуга	15,5	5,7	5,6	6,7	4,6	4,1	2,5	4,3	4,4	4,6	4,6	7,3	10,4	12,3	8,4	8,5
Чистополь	4,8	6,3	5,5	5,4	5,1	5,1	3,4	4,3	5,3	6,0	4,5	7,4	8,8	8,4	5,7	10,0
Чулпаново	15,7	6,9	9,7	5,2	4,1	2,9	2,9	3,1	3,1	6,3	8,8	6,0	7,3	6,0	10,4	9,8
Бугульма	20,3	4,9	5,0	3,4	4,8	3,6	3,7	3,5	5,0	6,4	7,7	8,0	11,7	11,4	8,1	5,2
Ульяновск	12,0	3,8	3,4	4,3	6,0	6,6	2,5	3,2	4,6	5,0	2,6	7,5	14,9	14,6	5,1	9,3
Каналей	16,9	4,1	5,6	6,3	7,6	4,5	2,0	2,5	2,7	4,1	6,0	10,4	13,7	10,6	8,6	6,3
Серноволск	13,1	9,6	8,4	4,0	4,4	4,3	6,2	5,9	4,7	4,4	4,9	5,0	6,2	6,4	7,6	8,3
Самара	6,9	5,7	4,7	5,3	9,4	7,3	3,6	1,9	2,1	2,4	4,5	8,8	11,2	7,6	8,6	8,3
Авангард	13,0	5,4	5,0	5,0	4,2	4,8	6,0	6,6	6,6	5,8	4,9	5,1	5,4	5,5	7,3	11,8
Среднее	14,2	5,7	5,4	4,9	5,9	4,9	3,7	4,3	5,1	5,4	5,3	7,0	9,2	8,5	7,5	8,9
Максимум	27,7	9,6	9,7	7,1	9,4	7,3	6,2	6,6	8,0	8,3	8,8	10,4	14,9	14,6	10,4	12,4
Минимум	4,8	3,8	3,3	3,4	4,1	2,9	2,0	1,9	2,1	2,4	2,6	4,6	5,4	5,5	4,4	5,1
Разность	22,9	5,8	6,4	3,7	5,3	4,4	4,2	4,7	5,9	5,9	6,2	5,8	9,5	9,1	5,3	8,0
Среднее по 8 румбам			10,7		10,8		8,3		9,9		11,5		17,0		16,2	15,5

Вместе с тем, в направлении ветра иногда обнаруживается и суточный ход. Как известно, возрастание скорости ветра в приземном слое в дневное время в ясные дни особенно летом под влиянием усиления турбулентности сопровождается правым поворотом направления ветра (по часовой стрелке) в северном полушарии. Убывание же скорости ветра вечером и ночью происходит при одновременном его повороте в обратном направлении, т.е. вращении влево (против часовой стрелки).

Скорость ветра

На территории Среднего Поволжья средние месячные скорости ветра на высоте 10–12 м от поверхности земли характеризуются меньшими значениями в летний период (1,9–3,9 м/с) и большими – чаще в зимний (2,0–5,4 м/с), что обусловлено, как отмечалось, увеличением градиентов давления от лета к зиме (табл. 5.5, рис. 5.2). Средние месячные максимальные скорости ветра примерно на 2–3 м/с больше средних скоростей и составляют около 4,0–7,2 м/с, преимущественно в летние месяцы и 4,8–8,7 м/с – в остальные месяцы (табл. 5.6, рис. 5.3).

Повышенными средними скоростями ветра в среднем за год отличается станция Чебоксары (что, очевидно, связано с более открытым ее положением), пониженными скоростями – станция Лальск. В отдельные годы наибольшие средние месячные максимальные скорости ветра зимой на ст. Бугульма достигали 13 м/с. При этом наибольшие скорости обычно характерны для преобладающих направлений: зимой они отмечаются при южных и юго-западных ветрах, а летом при северо-западных и северных.

Среднее квадратическое отклонение (σ) средних месячных скоростей ветра меняется в годовом ходе от минимальных значений летом (0,3–0,9 м/с) до максимальных (чаще зимой), достигающих 0,6–1,7 м/с. Средние квадратические отклонения средних максимальных скоростей составляют летом 0,6–1,8 м/с, доходя зимой до 0,9–2,3 м/с.

Изучая межгодовую изменчивость средних скоростей ветра в центральные месяцы сезонов и за год на метеостанции Киров, АМСГ, можно заметить общую тенденцию убывания их значений с 1966 до 2004 гг. (рис. 5.4). Примерно подобная особенность обнаруживается и на большинстве других метеорологических станций.

Средняя скорость (м/с) ветра (1966–2004 гг.)

Станции	Месяцы												Год	Амп.
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII		
Лалыск	2,0	2,1	2,2	2,2	2,4	2,2	1,9	1,9	2,0	2,4	2,2	2,1	2,1	0,5
Кирс	3,0	3,0	3,1	3,1	3,1	2,6	2,2	2,3	2,6	3,2	3,1	3,2	2,9	1
Шабалино	3,6	3,5	3,4	3,4	3,4	3,0	2,7	2,8	2,9	3,4	3,5	3,6	3,3	0,9
Киров, АМСГ	3,3	3,2	3,1	3,1	3,0	2,6	2,3	2,4	2,6	3,2	3,2	3,3	2,9	1
Яранск	3,1	2,9	2,7	2,6	2,6	2,2	1,9	2,1	2,3	3,0	3,1	3,2	2,6	1,3
Кильмезь	4,3	4,2	4,0	3,9	3,8	3,2	2,7	3,0	3,4	3,9	4,1	4,2	3,7	1,6
Глазов	3,8	3,8	3,9	3,8	3,7	3,1	2,5	2,8	3,2	3,9	3,9	4,0	3,5	1,5
Ижевск	4,0	3,8	3,8	3,7	3,8	3,3	2,8	2,9	3,4	4,0	4,0	4,0	3,6	1,2
Морки	3,2	3,1	3,1	3,1	3,1	2,8	2,3	2,4	2,7	3,3	3,4	3,3	3,0	1,1
Чебоксары	5,4	5,2	5,0	4,8	4,7	4,1	3,6	3,9	4,5	5,3	5,3	5,4	4,8	1,8
Алатырь	4,5	4,2	4,0	3,8	3,7	3,1	2,9	3,0	3,5	4,2	4,2	4,5	3,8	1,6
Казань	3,6	3,4	3,1	3,2	3,0	2,7	2,4	2,5	2,8	3,4	3,5	3,5	3,1	1,2
Елабуга	2,9	2,8	2,8	3,0	3,3	2,8	2,5	2,5	2,7	3,3	3,2	2,9	2,9	0,8
Чистополь	5,2	5,1	4,7	4,4	4,2	3,6	3,1	3,3	3,8	4,4	4,8	5,1	4,3	2,1
Чуланово	4,6	4,4	4,1	4,0	3,9	3,3	2,8	2,8	3,4	4,2	4,4	4,6	3,9	1,8
Бугульма	5,2	5,1	4,8	4,7	4,6	3,8	3,3	3,5	4,1	5,0	5,2	5,2	4,5	1,9
Ульяновск	4,8	4,5	4,1	4,2	4,3	3,6	3,3	3,5	3,9	4,5	4,5	4,6	4,2	1,5
Канадей	2,3	2,4	2,4	2,5	2,5	2,3	2,2	1,9	2,1	2,3	2,3	2,3	2,3	0,6
Серноволск	4,0	3,9	3,7	4,0	3,9	3,3	3,1	3,0	3,3	3,8	4,0	3,9	3,7	1
Самара	3,3	3,3	3,2	3,2	2,9	2,7	2,5	2,4	2,7	3,1	3,3	3,3	3,0	0,9
Авангард	4,4	4,4	4,1	4,2	3,8	3,2	2,9	2,9	3,4	4,0	4,2	4,3	3,8	1,5
Среднее	3,8	3,7	3,6	3,6	3,5	3,0	2,7	2,8	3,1	3,7	3,8	3,8	3,4	1,3
Максимум	5,4	5,2	5,0	4,8	4,7	4,1	3,6	3,9	4,5	5,3	5,3	5,4	4,8	2,1
Минимум	2,0	2,1	2,2	2,2	2,4	2,2	1,9	1,9	2,0	2,3	2,2	2,1	2,1	0,5
Разность	3,4	3,1	2,8	2,6	2,3	1,9	1,7	2,0	2,5	3,0	3,1	3,3	2,7	1,6



Рис. 5.2. Средняя скорость ветра (м/с) в январе (слева) и в июле (справа)

Средняя максимальная скорость (м/с) ветра (1977–2004 гг.)

Станции	Месяцы												Год	Амп.
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII		
Лалейск	4,8	4,9	5,0	5,3	5,8	5,4	4,8	4,8	5,0	5,6	5,2	5,0	5,1	1
Кирс	5,6	5,5	5,7	5,8	6,2	5,1	4,3	4,6	5,0	5,8	5,6	5,7	5,4	1,9
Шабалино	6,9	7,0	6,6	6,7	7,0	6,4	5,7	6,0	6,0	6,7	6,9	6,9	6,6	1,3
Киров, АМСГ	6,5	6,4	6,1	6,5	6,9	6,2	5,6	5,8	6,0	6,7	6,6	6,7	6,3	1,3
Яранск	5,5	5,3	5,0	4,9	5,3	4,6	4,0	4,3	4,8	5,6	5,8	5,7	5,1	1,8
Кильмезь	7,1	6,9	6,8	6,8	7,0	6,2	5,6	6,0	6,5	7,2	7,2	7,3	6,7	1,7
Глазов	6,3	6,3	6,2	6,4	6,7	6,0	4,9	5,4	6,0	6,9	6,8	6,7	6,2	2
Ижевск	6,8	6,7	6,5	6,7	7,2	6,4	5,6	5,8	6,2	7,1	7,0	6,9	6,6	1,6
Морки	6,0	6,0	5,7	6,1	6,6	6,1	5,2	5,5	5,7	6,4	6,5	6,3	6,0	1,4
Чебоксары	8,2	7,9	7,5	7,4	7,7	7,0	6,2	6,7	7,3	8,1	8,2	8,4	7,6	2,2
Алатырь	6,9	6,6	6,2	6,1	6,4	5,7	5,1	5,4	5,9	6,4	6,4	6,8	6,2	1,8
Казань	6,4	6,3	5,7	6,0	6,0	5,5	4,9	5,4	5,7	6,5	6,6	6,4	6,0	1,7
Елабуга	5,5	5,7	5,6	6,1	6,7	5,9	5,2	5,4	5,5	6,4	6,2	5,8	5,8	1,5
Чистополь	7,5	7,3	6,7	6,3	6,3	5,5	4,8	5,1	5,7	6,4	6,9	7,3	6,3	2,7
Чуланово	7,2	7,1	6,5	6,7	7,0	6,1	5,2	5,3	6,0	6,8	7,1	7,2	6,5	2
Бугульма	8,7	8,6	8,0	8,0	8,2	7,2	6,5	6,7	7,4	8,5	8,5	8,6	7,9	2,2
Ульяновск	7,1	7,0	6,5	6,8	7,3	6,4	5,9	6,1	6,6	7,2	7,1	7,2	6,8	1,4
Каналей	4,8	5,0	4,9	5,4	5,4	5,2	4,8	4,6	4,8	5,0	5,0	4,9	5,0	0,8
Серноводск	7,4	7,4	6,7	7,3	7,7	6,7	6,3	6,1	6,4	7,1	7,4	7,3	7,0	1,6
Самара	6,9	7,0	6,6	7,0	6,7	6,3	6,0	5,8	6,3	7,0	7,0	6,8	6,6	1,2
Авангард	7,3	7,3	6,8	7,1	7,0	6,2	5,6	5,6	6,3	7,0	7,2	7,1	6,7	1,7
Среднее	6,6	6,6	6,3	6,4	6,7	6,0	5,3	5,5	6,0	6,7	6,7	6,7	6,3	1,7
Максимум	8,7	8,6	8,0	8,0	8,2	7,2	6,5	6,7	7,4	8,5	8,5	8,6	7,9	2,7
Минимум	4,8	4,9	4,9	4,9	5,3	4,6	4,0	4,3	4,8	5,0	5,0	4,9	5,0	0,8
Разность	3,9	3,7	3,1	3,1	2,9	2,6	2,5	2,4	2,6	3,5	3,5	3,7	2,9	1,9

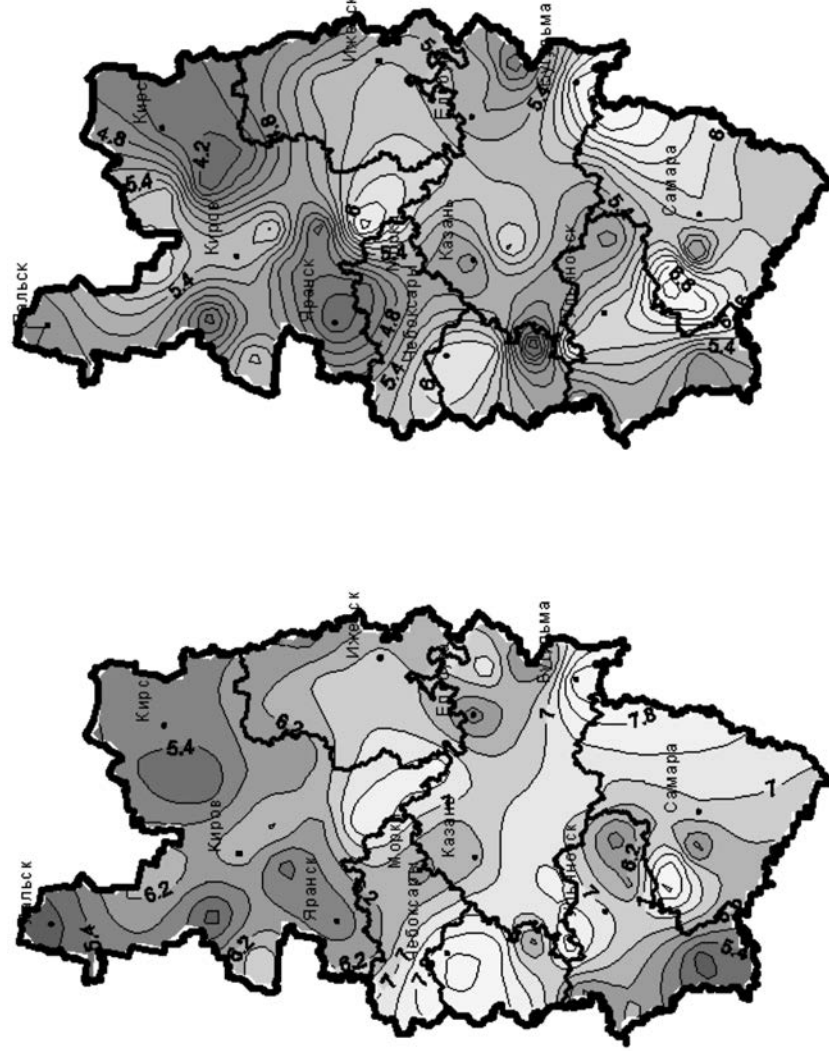


Рис. 5.3. Максимальная скорость ветра (м/с) в январе (слева) и в июле (справа)

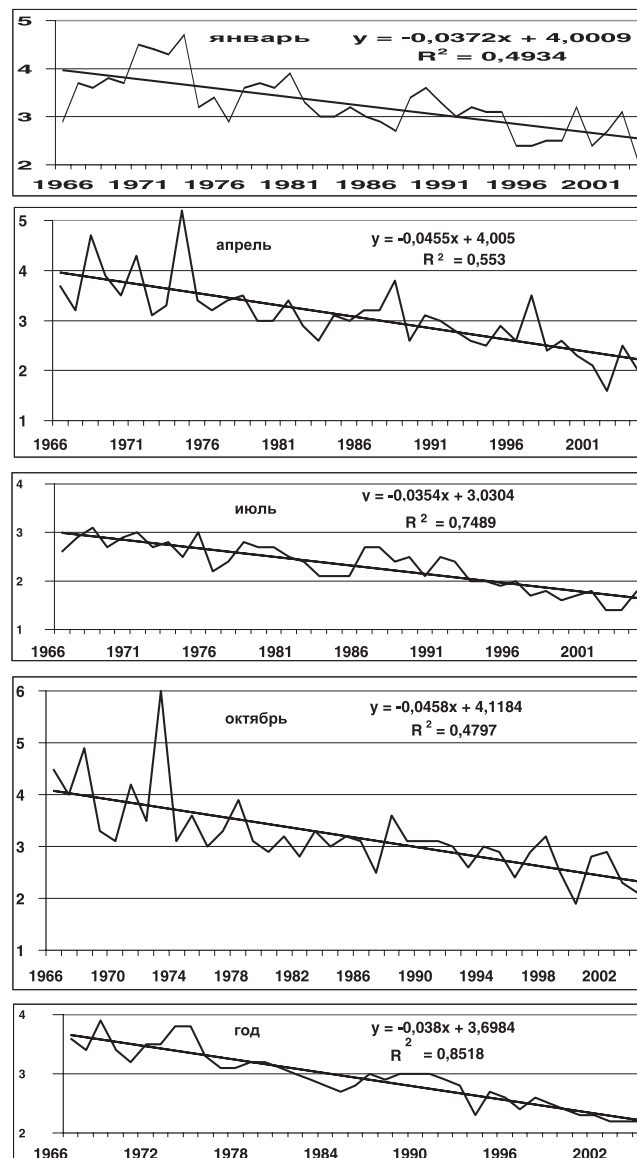


Рис. 5.4. Межгодовые изменения и линейные тренды средней скорости ветра (м/с) на ст. Киров, АМСГ

В суточном ходе скорости ветра максимум наблюдается после полудня, минимум — ночью. Амплитуда его примерно соответствует половине (иногда больше) среднего суточного значения скорости. Особенно она велика летом в ясную погоду, когда в дневное время происходит усиление турбулентного перемешивания и скорость ветра у земной поверхности становится максимальной. Ночью, при ослабленном турбулентном обмене скорость ветра может уменьшиться до штиля. Дневные средние месячные скорости ветра больше ночных летом на 1,1–4,5 м/с, зимой — на 0,1–1,5 м/с. При этом среднее квадратическое отклонение дневных скоростей ветра также больше ночных: летом на 0–0,7 м/с, зимой на 0–0,6 м/с.

Наибольшая повторяемость штилей и слабых ветров со скоростями 3 м/сек и менее наблюдается в летние месяцы в ночное время. При этом очень слабые ветры (0–1 м/с) отмечаются в 8–36% случаев зимой и в 11–46% случаев летом.

В течение года преобладают ветры со скоростью 2–5 м/сек (42–65%). Сильные же ветры по мере возрастания их скорости наблюдаются реже. Так, повторяемость ветров со скоростью более 7 м/с увеличивается от 2–13% летом до 5–25% зимой (Справочник, 1966).

Среднее число дней за месяц с сильным ветром (со скоростью не менее 15 м/с) меняется по территории в пределах 0–2,9 дней летом и 0,1–3,6 дней зимой, а наибольшее — соответственно 1–10 и 2–12 дней. В среднем за год с сильным ветром отмечается 3–21 дней, а в отдельные годы бывает до 5–64 дней. Наиболее часто сильные ветры наблюдаются на ст. Уржум (Научно-прикл..., 1989; Справочник ..., 1966).

Максимальные скорости ветра достигают в ряде случаев 25–28 м/с и более с порывами до 30–40 м/с и более. Однако ветры такой силы возникают очень редко. Как показали расчеты, проведенные по данным для станций Киров (город) и Бугульма, наибольшие скорости ветра, возможные 1 раз в год, 5, 10 и 20 лет составляют соответственно 22, 25, 26, 28 м/с и 23, 25, 26, 28 м/с с усилением при порывах на 5–10 м/с (Справочник, 1966).

Ветры разных скоростей имеют различную продолжительность. Слабые ветры более устойчивы, сильные же ветры обычно кратковременны, особенно летом. Так, на ст. Киров сильные ветры со скоростью 15 м/с и более в декабре и январе имеют суммарную про-

должительность за месяц в среднем 13 и 17 час., тогда как в июле и августе — 4 и 3 час., а наибольшую — соответственно 52 и 68 час., 24 и 8 час. Повышенная их продолжительность отмечается и в мае, соответственно 15 и 79 час., а в целом за год она составляет 52 и 192 час. Наибольшая же непрерывная продолжительность таких ветров составляла в январе 28, в марте — 22, в мае — 29, в декабре — 22, за год — 29 час. (Климат Кирова, 1982).

Очень слабые ветры (0–1 м/с) на ст. Киров сохраняются непрерывно в среднем за месяц в течение 6,3–8,5 час. при наибольшей продолжительности 30–48 час. Средняя непрерывная продолжительность ветров со скоростью не более 4 м/с колеблется в пределах 20,3–30,2 час. за месяц, а в отдельных случаях может достигать 180–351 час, т.е. 7–15 суток. Ветры со скоростью 5 м/с и более дуют в среднем 6,5–11,3 час. за месяц при максимуме до 36–75 час.

6. Температурный режим атмосферы

Как известно, тепловая энергия лежит в основе всех атмосферных процессов, и поэтому температура воздуха является одним из важнейших элементов погоды и климата. Термический режим воздуха формируется под влиянием как макромасштабных, так и местных факторов. К макромасштабным факторам относят атмосферную циркуляцию, радиационный режим и характер подстилающей поверхности, определяемых широтой местности, степенью континентальности и макрорельефом. Кроме них на термический режим оказывают влияние и местные условия: мезо- и микрорельеф, характер растительности и почв, близость водоемов и т.д., что приводит к сложной картине пространственно-временного распределения температуры (Климат России, 2001).

Температурный режим характеризуется рядом показателей, среди которых средние и экстремальные значения температуры воздуха, характеристики ее пространственной и временной изменчивости, даты перехода средней суточной температуры через определенные уровни (например, через 0, 5, 10 и 15 °C), продолжительность периодов с температурой воздуха выше или ниже заданного уровня и т.д.

Температура воздуха является одной из важнейших метеорологических величин, наиболее полно характеризующих физическое состояние атмосферы, погоду и климат данной местности, поэтому с момента изобретения Галилеем первого и далеко не совершенного термометра (1603 г.) методы ее измерения постоянно совершенствовались. В настоящее время температура воздуха на сети измеряется в метеорологической будке, сделанной из дерева и окрашенной в белый цвет, чтобы она максимально отражала солнечные лучи и как можно меньше нагревалась (Хромов, Петросянц, 2004). В будке обеспечивается вентиляция благодаря ее стенкам, сделанным в виде жалюзи, со-

стоящих из отдельных планок. Резервуары термометров помещаются на высоте 2 м над поверхностью почвы, мимо них проходит воздух, который не застаивается в будке. Все это обеспечивает однородный характер температурных наблюдений и их сопоставимость.

Температура воздуха измеряется психрометрическим термометром через каждые 3 часа — 0, 3, 6, 9, 12, 15, 18, 21 гринвичского времени, суточная максимальная и минимальная температура — соответственно по максимальному и минимальному термометрам. Максимальная температура характеризует дневную, наиболее теплую, часть суток, минимальная оценивает холодную часть суток — несколько часов в конце ночи летом и в предутренние часы зимой (Справочник ..., 2003).

В России регулярные наблюдения над температурой воздуха ведутся в Санкт-Петербурге с 1743 г. (Покровская, Бычкова, 1967), в Москве с 1779 г., в г. Казань с 1812 г. (Переведенцев, 2001), а в г. Киров с 1830 г. (Климат Кирова, 1982). Наиболее же длинные ряды наблюдений восстановлены для центральной Англии — порядка 350 лет, что позволило проследить за колебаниями климата, начиная с малого ледникового периода и до настоящего времени.

Температура воздуха постоянно меняется в пространстве и во времени. В первую очередь следует отметить ее суточный ход, который обусловлен радиационным балансом местности, зависящим от высоты солнца, продолжительности дня, режима облачности и др. Радиационный фактор хорошо проявляется в тихую, ясную погоду (Климат Москвы, 1969). К регулярным изменениям относится и годовой ход температуры, при котором средние месячные температуры в зимние месяцы ниже, а летние — выше. Характеристикой годового хода температуры воздуха является ее годовая амплитуда, то есть разность средних месячных температур самого теплого и самого холодного месяцев. Величина амплитуды годового хода зависит от степени континентальности климата. Благодаря же циркуляционному фактору, приводящему к адвекции тепла или холода, возникают нерегулярные (апериодические) изменения температуры. К их числу относятся в первую очередь межсуточные изменения температуры.

В последние годы в связи с угрозой глобального потепления климата значительно возрос интерес к межгодовым и более длительным колебаниям климата.

Так, согласно данным оценочного доклада Росгидромета (2008), изменения (прирост) температуры приземного воздуха зимой и летом к 2041–2060 гг. рассчитанные для Приволжского федерального округа по ансамблям из 16 МОЦАО СМIP3 (сценарий A2), составят соответственно 3,0 и 2,1 °С. Следует отметить, что в настоящее время наиболее развита парниковая теория изменения современного климата и все известные сценарии будущего климата как планеты в целом, так и ее регионов базируются на модельных расчетах. При этом учитываются различные варианты роста концентрации CO₂ в атмосфере в 21 столетии, непосредственно зависящие от многих факторов: экономических, демографических, экологических, правовых и т.п.

6.1. Средние температуры воздуха

Основной характеристикой термического режима местности служат средние месячные и годовые температуры воздуха (Матвеев, 2000). Рассмотрим распределение многолетней средней годовой температуры воздуха по территории Среднего Поволжья, осредненной для 21 станции за период 1966–2004 гг. Эта величина по территории региона меняется в пределах от 1,4°С (ст. Кирс) до 5,2°С (ст. Самара). Как видно из последнего столбца табл. 6.1, многолетняя средняя годовая температура воздуха (СГТВ) повсеместно положительная и имеет более низкие значения на севере и северо-востоке (ст. Лальск, Кирс), чем на юге и юго-юго-востоке региона (ст. Самара; Авангард, зерносовхоз). Эти изменения обусловлены особенностями рельефа и высотой места, режимом облачности и радиации. Как известно, наряду с радиационными и циркуляционными факторами необходимо учитывать характер подстилающей поверхности. Правда, на территории региона ввиду небольших разностей высот и преобладания равнинных форм влияние рельефа сказывается главным образом на микроклиматическом режиме. Диапазон колебаний СГТВ в период 1966–2004 гг. по территории региона от -1,8°С (ст. Кирс, 1969 г.) до 7,8°С (ст. Самара, 1995 г.). Причем колебания более высоких среднегодовых температур происходят в более узком диапазоне, чем низких. Это происходит из-за того, что минимальные температуры воздуха в большей степени за-

висят от местных, локальных особенностей. Однако различия не столь существенны.

В более ранних исследованиях отмечено, что территория Среднего Поволжья характеризуется умеренно континентальным климатом с теплым летом и умеренно холодной зимой, где проявляется еще значительное влияние со стороны Атлантического океана, обеспечивающего регион теплом и осадками.

Распределение температуры зимой в условиях отрицательного радиационного баланса поверхности складывается главным образом под влиянием адвекции и радиационного охлаждения. В общем оно сложнее, чем в другие сезоны (Жаков, 1982). Обычно сезоны выделяют по термическим признакам, в которых заметнее всего проявляется смена ритма погоды от сезона к сезону. В качестве критерия могут быть взяты определенные значения средних суточных температур воздуха. Так, за начало и конец зимы принимается период между датами устойчивого перехода этих температур через 0 или через -5°C при их понижении и повышении.

Календарный летний период (июнь-август) не совпадает с фактическим (климатологическим) летним периодом. За начало лета А.Н. Лебедевым и Г.Н. Писаревой (1956) принята средняя дата прекращения заморозков и ослабления интенсивного роста температуры, за конец — средняя дата начала интенсивного понижения температуры и появления ночных заморозков. В эти даты всюду среднесуточные температуры выше 10°C . В средних широтах они равны $13-14^{\circ}\text{C}$.

Климатологическое лето, выделенное по этим критериям, примерно совпадает с календарным в полосе, проходящей через центральные районы ЕЧР. Одна из характеристик лета — продолжительность периода с устойчивой теплой погодой, за которой можно принять период со средними суточными температурами выше 15°C , представляет интерес как важный показатель среды обитания человека, условий сельскохозяйственного производства и формирования экосистем.

Средние температуры июля выше, чем в остальные месяцы. Вследствие тепловой инерции географической оболочки, особенно океанов, и особенностей радиационного и теплового балансов весной, на большей части территории России она больше между июлем и июнем, чем между июлем и августом (Лебедев, Писарева, 1956).

Таблица 6.1

Средняя месячная и годовая температура воздуха ($^{\circ}\text{C}$) за 1966–2004 гг.

Станция	Месяцы												Год	Ампл.
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII		
Лалек	-14,7	-12,3	-4,8	2,3	9,0	14,9	17,4	14,0	8,1	1,7	-6,0	-11,5	1,6	32,1
Кире	-15,0	-12,8	-5,2	2,6	9,3	15,0	17,4	14,0	8,3	1,3	-6,4	-12,1	1,4	32,4
Шабалино	-13,1	-11,2	-4,3	3,7	10,6	15,7	18,0	14,9	9,0	2,2	-4,9	-10,6	2,5	31,1
Киров, АМСГ	-13,3	-11,4	-4,1	3,9	11,0	16,3	18,6	15,4	9,3	2,1	-5,1	-10,6	2,7	31,9
Яранск	-12,9	-11,8	-5,1	4,1	11,4	16,4	18,7	15,7	9,8	2,9	-4,3	-10,1	2,9	31,6
Кильмезь	-12,0	-10,8	-4,3	4,0	12,0	16,8	19,0	15,6	10,0	2,9	-5,2	-10,3	3,2	31,0
Глазов	-14,6	-12,9	-5,6	2,9	10,5	15,7	18,1	14,9	9,0	1,9	-5,9	-11,8	1,9	32,7
Ижевск	-13,7	-12,2	-5,2	3,9	11,8	16,7	18,9	15,9	9,9	2,4	-5,2	-11,1	2,7	32,6
Морки	-12,5	-11,3	-4,7	4,4	12,1	16,9	19,0	16,2	10,3	3,3	-4,2	-9,9	3,3	31,5
Чебоксары	-11,5	-10,5	-4,4	4,8	12,7	17,1	19,4	16,8	10,7	3,5	-3,9	-9,4	3,7	30,9
Алатырь	-11,1	-10,2	-4,2	5,6	13,4	17,2	19,3	17,1	11,2	3,9	-3,4	-8,9	4,2	30,4
Казань	-11,8	-10,8	-4,3	5,3	13,2	17,7	19,8	17,2	11,3	3,9	-3,5	-9,3	4,1	31,6
Елабуга	-12,8	-11,5	-4,2	5,2	13,1	17,7	19,9	16,9	11,1	3,5	-4,0	-10,3	4,0	32,7
Чистополь	-11,4	-11,0	-5,0	4,3	12,6	17,3	19,5	16,5	10,9	3,7	-4,9	-9,8	3,6	30,9
Чуланово	-12,7	-12,2	-5,7	5,4	13,5	17,7	19,7	17,2	11,3	3,8	-3,6	-9,8	3,7	32,4
Бугульма	-12,9	-11,8	-5,5	4,5	12,6	16,8	18,8	16,3	10,7	2,8	-4,8	-10,4	3,2	31,7
Ульяновск	-10,3	-10,5	-4,5	5,9	13,6	18,1	19,8	17,3	11,8	4,1	-3,4	-8,7	4,4	30,3
Каналей	-11,0	-10,5	-4,2	6,8	14,2	18,5	20,5	18,2	12,1	4,7	-2,5	-8,6	4,8	31,5
Серноводск	-12,4	-11,5	-4,9	6,2	14,3	18,3	20,3	18,1	12,2	4,2	-3,5	-9,7	4,3	32,7
Самара	-11,3	-10,5	-3,8	7,2	14,9	19,2	21,1	18,9	12,9	5,0	-2,6	-8,8	5,2	32,4
Авангард	-12,2	-11,8	-5,1	6,9	14,9	19,2	21,2	19,1	13,0	4,7	-2,9	-9,4	4,8	33,4
Среднее	-12,5	-11,4	-4,7	4,8	12,4	17,1	19,3	16,5	10,6	3,3	-4,3	-10,1	3,4	31,7
Максимум	-10,3	-10,2	-3,8	7,2	14,9	19,2	21,2	19,1	13,0	5,0	-2,5	-8,6	5,2	33,4
Минимум	-15,0	-12,9	-5,7	2,3	9,0	14,9	17,4	14,0	8,1	1,3	-6,4	-12,1	1,4	30,3

В январе – самом холодном месяце года средняя многолетняя температура воздуха колеблется по территории региона в пределах от $-15,0^{\circ}\text{C}$ (ст. Кирс) до $-10,3^{\circ}\text{C}$ (ст. Ульяновск), т.е. перепад температур с юго-запада на северо-восток составляет $4,7^{\circ}\text{C}$. Как видно из табл. 6.1, четко прослеживается годовой ход температуры воздуха. Она быстро начинает возрастать с марта до июня в связи с увеличением продолжительности дня и приходящей солнечной радиации. Так, с марта по апрель многолетние средние месячные температуры возрастают на $7,1\text{--}12,0^{\circ}\text{C}$ (наибольшее возрастание на юге региона) и становятся положительными из-за резкого повышения приходящей солнечной радиации, причем увеличение идет с севера на юг. В летние месяцы межмесячные изменения не столь значительны. Самым теплым месяцем года является июль. Распределение многолетней среднеиюльской температуры по территории региона достаточно однородное и колеблется от $17,4^{\circ}\text{C}$ (ст. Лальск) до $21,2^{\circ}\text{C}$ (ст. Авангард, зерносовхоз). Метеостанция Лальск расположена на севере области и поэтому ее температуры заметно ниже температур более южных станций. Далее в годовом ходе температура воздуха вначале постепенно, а затем достаточно быстро понижается. В ноябре ее многолетние среднемесячные значения уже отрицательны. Причем изменение температуры наиболее выражено в переходные периоды, при этом весеннее нарастание температуры несколько более интенсивное, чем ее осеннее понижение.

Для каждого месяца года были построены средние многолетние карты (осреднение проводилось за период 1966-2004 гг.). В январе изотермы направлены с северо-запада на юго-восток, в марте происходит перестройка термического поля и с апреля по сентябрь изотермы принимают зональное направление. Причем в апреле и в мае наблюдается заметный перепад температур между севером и югом ($\sim 6^{\circ}\text{C}$). С октября начинается перестройка температурного поля: изотермы начинают принимать зимнее направление и перестройка идет с севера.

На климатической карте (рис. 6.1) средняя годовая температура возрастает с севера на юг от 2 до 5°C , изотермы имеют слабый наклон. На севере картина более простая, чем на юге региона. Эти изменения обусловлены особенностями рельефа и высотой места, режи-

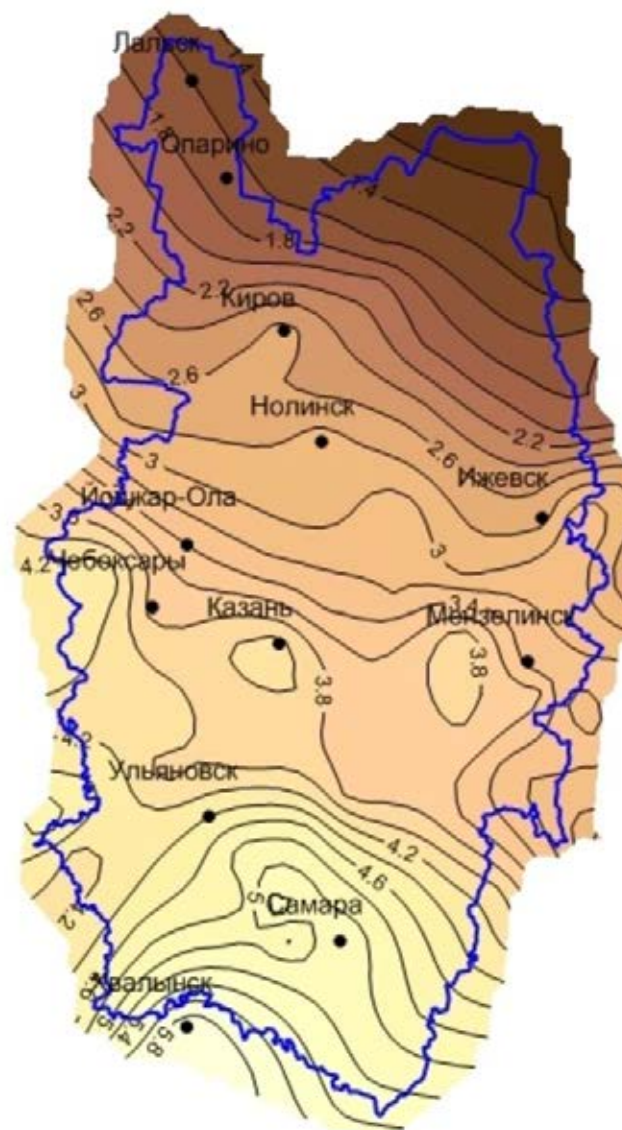


Рис. 6.1. Средняя годовая температура воздуха

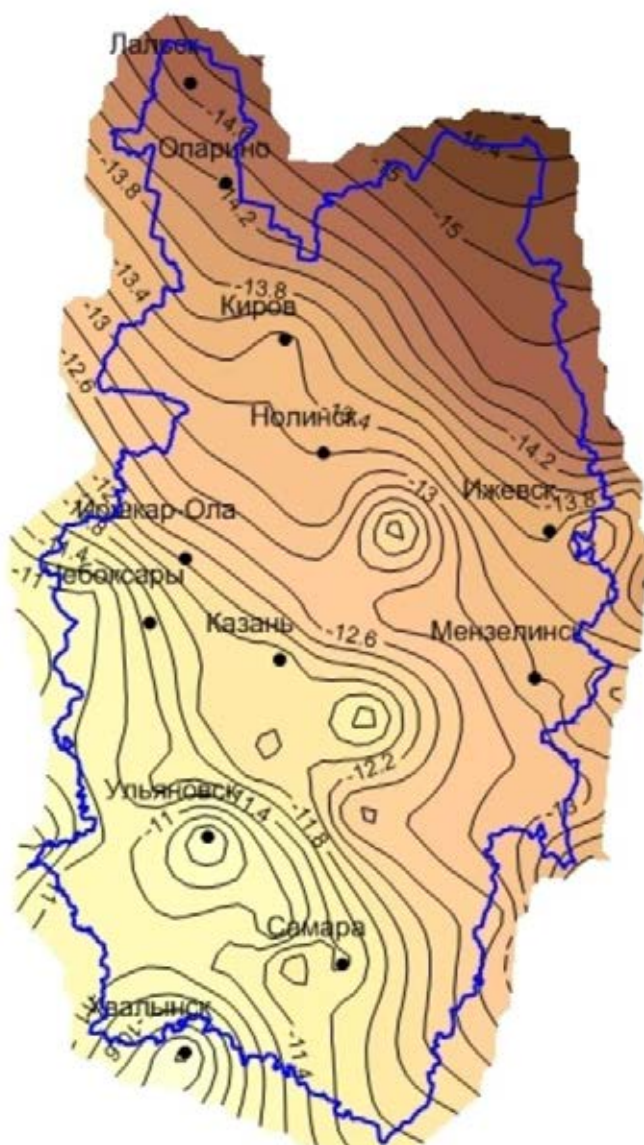


Рис. 6.2. Средняя январская температура воздуха

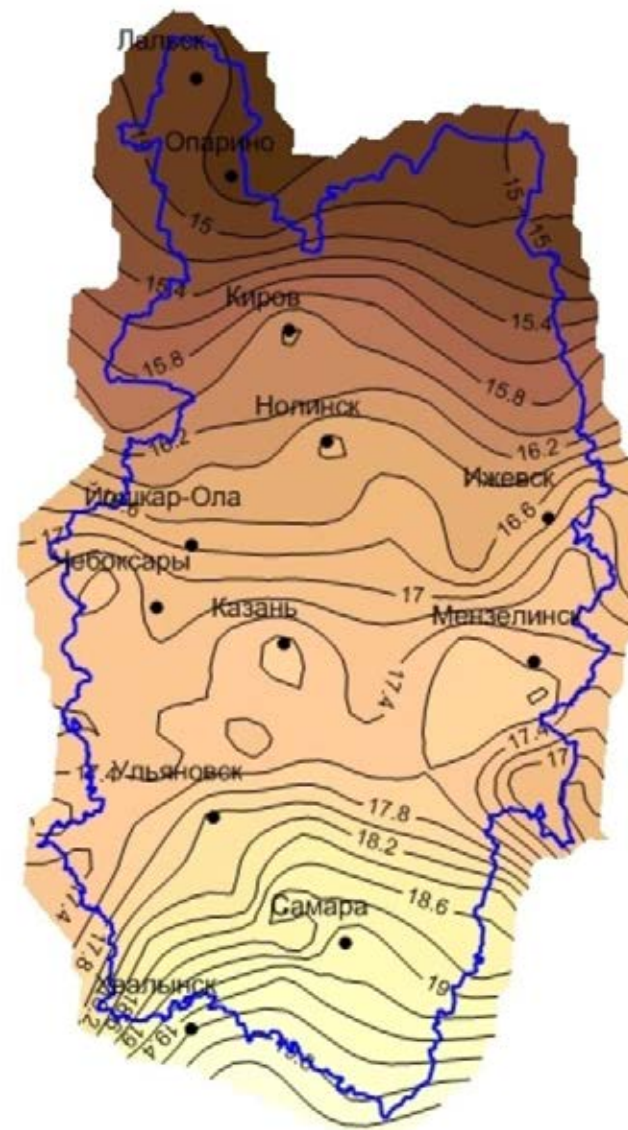


Рис. 6.3. Средняя июльская температура воздуха

мом облачности и радиации. Как известно, наряду с радиационными и циркуляционными факторами необходимо учитывать характер подстилающей поверхности. На севере региона рельеф представлен Верхнекамской возвышенностью, Вятским и Северным увалами. На юго-западе сказывается влияние Приволжской возвышенности. Однако преобладают равнинные формы рельефа, которые сказываются на микроклиматическом режиме. Данные табл. 6.1 и рис. 6.1–6.3 наглядно иллюстрируют отмеченную особенность годового хода температуры воздуха.

Температурный контраст между самым холодным и самым теплым месяцами года характеризуется амплитудой годового хода температуры воздуха, которая в большей степени зависит от континентальности климата и от характера рельефа и в меньшей степени – от широты места. Величина амплитуды годового хода на территории региона меняется от 30,6°C (ст. Авангард) до 32,7°C (ст. Елабуга), т.е. возрастает в восточной части региона, что свидетельствует об усилении его континентальности. Однако различия между близкими станциями невелики.

Если многолетняя картина достаточно сглаженная, то изменения среднемесячных значений температуры в отдельных пунктах по годам весьма значительны.

Так как Среднее Поволжье находится в умеренном поясе, отличающемся активной циркуляцией атмосферы, температурные условия характеризуются большой изменчивостью от года к году, что проявляется не только в средних суточных значениях температуры, но и в средних месячных величинах, что видно из табл. 6.2, приводимой в качестве примера.

Анализ данных табл. 6.2 свидетельствует о том, что между многолетними средними месячными значениями температуры воздуха и ее экстремальными значениями в отдельные годы существует большая разница, достигающая максимума в холодный период года (так, средняя январская температура на ст. Казань, оп. составляет -11,8°C, максимум ее достигает -5,0°C (2001 г.), а минимум -22,0°C (1969 г.)). Примечательно, что максимум среднеянварской температуры зафиксирован на этапе потепления климата (2001 г.), а минимум, естественно, в период относительного похолодания климата.

Таблица 6.2

Средняя месячная и годовая температура воздуха (°C)
на станции Казань, опорная за 1966–2004 гг.

Характеристика	Месяцы												Год
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	
Средняя	-11,8	-10,8	-4,3	5,3	13,2	17,7	19,8	17,2	11,3	3,9	-3,5	-9,3	4,1
Минимум	-22,0	-17,8	-9,4	-1,2	8,3	13,7	16,6	14,3	7,2	-2,5	-9,9	-17,6	1,1
Год	1969	1969	1969	1979	1969	2003	1973	1980	1973	1976	1993	2002	1969
Максимум	-5,0	-2,3	0,1	11,3	17	21,9	23,8	23,2	14,5	7,9	1,0	-3,6	6,3
Год	2001	2002	2002	1995	1984	1989	1988	1972	1992	1974	1996	2003	1995
СКО, сут.	7,8	6,9	5	5,4	5,2	4,6	3,7	4,2	4,5	4,6	5,2	6,7	1,1
СКО, мес.	4,2	3,6	2,3	2,8	2,2	2,3	1,9	1,7	1,7	2,0	2,5	3,6	1,1

Для оценки межгодовой изменчивости температуры, обусловленной действием циркуляции атмосферы, облачности и др., по среднемесячным температурам рассчитывались значения ее средних квадратических отклонений (σ). Величина σ имеет хорошо выраженный годовой ход и достаточно равномерно распределена по территории региона (табл. 6.3). В январе σ изменяется от 4,2°C (ст. Киров) до 4,7°C (ст. Лальск), а в августе от 1,6°C (ст. Самара) до 1,9°C (ст. Кильмезь). В холодный период величина σ максимальна, а в теплый — минимальна. Значение σ , рассчитанное по среднегодовым значениям температуры, наиболее однородно по территории и мало меняется (0,9°C — 1,5°C).

Визуальный анализ построенных карт распределения величины СКО температуры воздуха по месяцам позволил обнаружить следующие особенности в пространственно-временном распределении этой характеристики: в январе величина σ изменяется более значительно в меридиональном направлении, увеличиваясь с юга на север от 4,0°C до 4,4°C. В марте, картина обратная, величина σ уменьшается с юга на север от 3,2° до 2,2°, что обусловлено более ранним приходом весны в южные широты территории. В июле величина σ возрастает с запада на восток от 1,8–1,9°C до 2,0°C. Как видим изменения невелики, но сказывается некоторое увеличение континентальности. В августе и сентябре поле величины по территории σ достаточно однородно, которая изменяется в пределах 1,6–1,8°C. В октябре заметно увеличение возмущенности поля σ с запада (1,7–1,8°C) на восток 2,2–2,4°C. В ноябре, декабре вновь выделяется меридиональная направленность в изменении СКО (в декабре от 3,8 до 4,2°C).

Так как распределение средних месячных температур близко к нормальному, то можно считать, что в пределах $\bar{i} \pm 2\sigma$ укладывается около 95% всех ее значений. Приведем значения σ температуры воздуха для территории Среднего Поволжья (табл. 6.3).

Таким образом, согласно данным табл. 6.1 и 6.3 и «правилу 2 σ », например, в январе в г. Киров в 95% случаев средняя месячная температура воздуха будет находиться в интервале -4,6°C — -21,4°C; а в июле соответственно: 14,6°C ч 22,2°C. Как видим, летний период оказывается несколько более устойчивым, чем зимний.

В климатологии большое внимание уделяется изучению суточного хода температуры воздуха в приземном слое атмосферы, обусловлен-

$$\bar{i} \pm 2\sigma$$

Таблица 6.3

Среднее квадратическое отклонение температуры воздуха за 1966–2004 гг.

Станции	Месяцы											
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Лальск	4,6	4,7	2,4	2,6	2,2	2,3	2,0	1,7	1,8	2,2	3,3	4,4
Кирс	4,6	4,1	2,4	2,8	2,3	2,2	1,9	1,7	1,8	2,1	3,1	4,4
Шабалино	3,9	2,1	2,7	2,3	2,2	2,0	1,8	1,7	1,9	2,8	4,0	4,0
Киров, АМСГ	4,1	3,7	2,1	2,7	2,3	2,3	2,0	1,9	1,8	2,2	2,7	3,9
Яранск	4,6	4,2	2,6	2,7	2,1	2,2	1,8	1,7	1,6	1,8	2,8	4,0
Кильмезь	3,5	3,5	2,0	3,1	2,3	2,4	2,0	1,7	1,6	1,8	3,0	3,9
Глазов	4,4	3,9	2,4	2,7	2,1	2,1	1,9	1,7	1,7	2,2	2,9	4,3
Ижевск	4,1	3,4	2,3	2,9	2,2	2,2	2,0	1,8	1,7	2,2	2,8	3,9
Морки	4,4	3,8	2,3	2,7	2,1	2,2	1,8	1,7	1,5	1,7	2,8	3,9
Чебоксары	4,2	3,5	2,1	2,6	2,2	2,4	1,9	1,8	1,7	1,7	2,6	3,6
Алатырь	4,3	3,6	2,3	2,7	2,3	2,3	1,9	1,8	1,7	1,7	2,6	3,6
Казань	4,2	3,6	2,3	2,8	2,2	2,3	1,9	1,7	1,7	2,0	2,5	3,6
Елабуга	4,3	3,7	2,5	2,8	2,2	2,2	1,9	1,7	1,6	2,1	2,7	3,9
Чистополь	4,0	3,5	2,4	2,9	2,2	2,2	1,8	1,8	1,7	1,9	2,5	3,7
Чупаново	4,4	4,0	3,1	2,8	2,0	2,0	1,8	1,6	1,5	2,0	2,7	3,9
Бугульма	4,0	3,3	2,3	3,1	2,3	2,2	2,0	1,8	1,8	2,4	2,6	3,4
Ульяновск	3,5	3,1	3,1	2,9	2,2	2,3	1,8	1,4	1,5	2,1	2,8	3,8
Канадей	4,4	4,1	3,2	2,6	2,1	2,1	1,8	1,7	1,5	2,0	2,7	3,9
Серноводск	4,3	3,7	2,7	3,1	2,2	2,2	1,9	1,8	1,7	2,3	2,6	3,7
Самара	4,0	3,5	2,5	3,0	2,2	2,4	2,0	1,7	1,7	2,3	2,3	3,5
Авангард	4,3	4,2	3,1	3,0	2,1	2,2	1,9	1,7	1,7	2,2	2,7	3,8

ного ходом радиационного баланса, который в свою очередь зависит от высоты солнца, продолжительности дня, режима облачности и др. (Климат России, 2001). В многолетнем суточном ходе минимальные средние часовые температуры отмечаются после восхода солнца, а максимальные — в послеполуденные часы, что является следствием турбулентного теплообмена между земной поверхностью и атмосферой. Согласно теоретическим и экспериментальным данным, в дневные часы земная поверхность вследствие притока солнечной радиации нагревается, а ночью под влиянием излучения охлаждается. Непосредственно радиационный фактор мало влияет на температуру воздуха ввиду прозрачности атмосферы относительно солнечных лучей (Матвеев, 2000). Отметим также, что знание суточного хода температуры воздуха необходимо для решения многих практических задач, включая прогноз погоды.

Основной характеристикой суточного хода является его амплитуда. В климатологии принято различать амплитуды, вычисленные как разность между средними значениями температуры наиболее теплого и холодного часа за месяц и между максимальными и минимальными значениями температуры за сутки. Первая амплитуда называется периодической и определяется суточным ходом радиации, сменой дня и ночи.

Кроме правильного суточного хода температуры имеют место непериодические, вызываемые сменой воздушных масс при прохождении фронтов. Эти изменения происходят в любое время суток, нарушая суточный ход температур, и определяют непериодическую амплитуду. Разности между периодической и непериодической амплитудой характеризуют внутрисуточную изменчивость, связанную с адвективными процессами. Наибольшие разности отмечаются зимой, когда суточный ход температуры выражен слабо и периодическая амплитуда невелика, а изменения температуры, связанные с усиленной циклонической деятельностью, могут быть значительны (Климат России, 2001).

Рассмотрим суточный ход температуры воздуха по восьми срокам наблюдений. Выявляется четкая зависимость суточного хода, т.е. разности между самым теплым и самым холодным сроком, от времени

года. Так, в январе по территории региона он невелик и меняется в пределах 1,2–3,2°C, а в июле изменяется в пределах 7,0–10,9°C. Как видно из табл. 6.4 и 6.5, разница по данному показателю изменчивости температуры воздуха между станциями для конкретных месяцев невелика.

Таблица 6.4

**Температура (°C) по срокам наблюдений (суточный ход)
за 1977–2004 гг. (январь)**

Станции	Сроки наблюдений (час.)								А
	0	3	6	9	12	15	18	21	
Лальск	-13,6	-13,6	-13,7	-12,7	-12,3	-13,2	-13,6	-13,5	1,4
Кирс	-14,3	-14,4	-14,3	-12,9	-12,2	-13,4	-13,6	-14,2	2,2
Шабалино	-12,2	-12,4	-12,5	-11,3	-10,9	-11,6	-11,8	-12,1	1,6
Киров, АМСГ	-12,5	-12,4	-12,7	-11,8	-11,4	-11,9	-12,1	-12,4	1,3
Яранск	-11,9	-12,1	-12,0	-11,0	-10,4	-11,4	-11,6	-11,9	1,7
Ижевск	-13,1	-13,2	-13,2	-12,0	-11,7	-12,4	-12,7	-13,0	1,5
Глазов	-13,1	-13,2	-13,2	-12,2	-11,9	-12,5	-12,8	-13,1	1,3
Морки	-11,8	-11,9	-12,1	-10,7	-10,1	-11,1	-11,5	-11,8	2,0
Чебоксары	-10,8	-10,9	-11,0	-10,2	-9,8	-10,3	-10,5	-10,6	1,2
Алатырь	-10,2	-10,4	-10,3	-9,3	-8,7	-9,4	-9,6	-10,0	1,7
Казань	-11,0	-11,2	-11,1	-10,1	-9,9	-10,4	-10,6	-11,1	1,3
Елабуга	-12,0	-12,0	-11,8	-10,4	-10,2	-11,4	-11,6	-11,9	1,8
Чистополь	-11,6	-11,8	-11,7	-10,7	-10,5	-11,1	-11,4	-11,5	1,3
Чулпаново	-11,9	-12	-11,9	-10,5	-10,0	-11,1	-11,6	-11,8	2,0
Бугульма	-12,1	-12,3	-12,2	-11,0	-11,0	-12,1	-12	-12,1	1,3
Ульяновск	-10,5	-10,5	-10,4	-9,3	-8,8	-9,7	-10,1	-10,3	1,7
Канадей	-10,6	-10,9	-10,8	-8,7	-7,7	-9,3	-10,0	-10,6	3,2
Серноводск	-11,7	-11,6	-11,4	-10,4	-10,1	-10,7	-11,0	-11,4	1,6
Самара	-10,6	-10,9	-10,7	-9,3	-9,0	-9,8	-10,2	-10,5	1,9
Авангард	-11,2	-11,4	-11,1	-9,7	-9,4	-10,7	-10,9	-11,1	2,0

В качестве примера рассмотрим распределение температуры по срокам наблюдений для всех месяцев года для ст.Казань, опорная (табл. 6.6). Из таблицы видно, что амплитуда (А) суточного хода тем-

пературы воздуха постепенно возрастает от января к февралю, а затем заметно увеличивается с наступлением весны и достигает своего максимума в период май-июль (более 7°C), а затем медленно убывает до своего минимума в декабре (0,9°C). Отметим, что на станциях Чебоксары и Чистополь суточный ход выражен более слабо, чем на остальных. Так, на ст. Чебоксары величина А достигает в июле 7,0°C.

Таблица 6.5

**Температура (°C) по срокам наблюдений (суточный ход)
за 1977–2004 гг. (июль)**

Станции	Сроки наблюдений (час.)								А
	0	3	6	9	12	15	18	21	
Лальск	12,6	14,1	18,5	20,6	21,5	20,7	16,5	14,1	8,9
Кирс	12,4	14,3	18,9	21,0	21,7	20,8	15,7	13,8	9,3
Шабалино	13,7	14,7	18,9	21,0	21,7	20,9	16,4	14,7	8,0
Киров, АМСГ	14,8	15,9	19,3	21,4	22,1	21,3	17,4	15,2	7,3
Яранск	13,9	15,1	19,8	21,7	22,9	22,0	17,7	15,2	9,0
Ижевск	14,2	15,9	20,2	22,3	22,9	21,9	16,8	14,7	8,7
Глазов	13,2	14,9	19,3	21,4	22,1	21,2	16,3	14,2	8,9
Морки	14,3	15,1	20,2	21,8	23,2	22,4	18,4	15,6	8,9
Чебоксары	15,7	16,5	19,8	22,0	22,7	22,0	17,0	16,0	7,0
Алатырь	15,2	15,7	19,5	22,3	23,1	22,3	18,5	16,2	7,9
Казань	16,3	17,4	20,9	22,8	23,5	22,6	19,2	17,0	7,2
Елабуга	15,5	17,5	21,3	23,5	24,2	23,2	19,0	16,4	8,7
Чистополь	15,7	16,4	20,3	22,4	23,0	21,8	18,4	15,9	7,3
Чулпаново	14,2	15,8	21,2	23,3	24,3	23,2	17,2	15,7	10,1
Бугульма	14,6	16,5	20,1	22,2	22,7	21,6	17,3	15,3	8,1
Ульяновск	15,3	15,9	20,8	22,8	24,0	23,1	19,6	17,0	8,7
Канадей	15,2	15,4	21,4	24,3	25,4	24,4	18,8	16,7	10,2
Серноводск	15,4	16,2	21,3	23,9	24,8	23,5	19,6	17,2	9,4
Самара	17,3	18,2	21,5	24,0	24,9	24,0	20,2	18,1	7,6
Авангард	15,2	16,9	22,9	24,4	26,1	25,2	19,0	16,8	10,9

Таблица 6.6

**Температура (°C) по срокам наблюдений (суточный ход)
на ст. Казань, опорная за 1977–2004 гг.**

Месяц	Срок наблюдений								А
	0	3	6	9	12	15	18	21	
Январь	-11,0	-11,2	-11,2	-10,1	-9,9	-10,4	-10,6	-11,1	1,3
Февраль	-10,9	-11,3	-10,9	-9,0	-8,1	-9,0	-9,8	-10,4	3,2
Март	-5,4	-5,9	-4,7	-2,2	-1,1	-1,9	-3,2	-4,2	4,8
Апрель	2,2	2,2	5,0	7,3	8,1	7,2	4,5	2,5	5,9
Май	9,1	10,0	13,6	16,0	16,9	15,7	12,2	9,7	7,8
Июнь	14,3	15,4	18,7	20,6	21,4	20,3	17,2	15,1	7,1
Июль	16,3	17,4	20,9	22,8	23,5	22,6	19,2	17,0	7,2
Август	13,9	14,1	17,4	19,8	20,7	19,1	16,1	14,3	6,8
Сентябрь	9,2	8,8	11,3	13,8	14,2	12,1	10,4	9,4	5,4
Октябрь	3,3	3,0	4,0	5,6	5,6	4,6	4,0	3,6	2,6
Ноябрь	-4,2	-4,5	-4,3	-3,1	-3,0	-3,7	-4,0	-4,3	1,5
Декабрь	-9,5	-9,5	-9,3	-8,7	-8,6	-9,1	-9,3	-9,4	0,9

Амплитуда суточного хода, определяемая как разность между максимальными и минимальными значениями температуры воздуха за сутки распределяется по территории региона достаточно равномерно и испытывает определенный годовой ход (табл. 6.7). Так, в январе она изменяется от 5,7°C (ст. Алатырь) до 7,9°C (ст. Кирс), а в мае амплитуда достигает своего максимума и меняется от 9,3°C (ст. Киров, АМСГ) до 13,6°C (ст. Канадей). Наибольшие значения амплитуды суточного хода отмечаются с апреля по август, причем в весенние месяцы эти значения выше, чем в осенние. В ноябре амплитуда суточного хода достигает в годовом ходе своего минимума и варьирует в пределах (4,1–5,5°C).

Периодичность суточного хода температуры воздуха нарушается адвекцией тепла или холода, наличием или отсутствием облачности, местными условиями, что приводит к существенной изменчивости во времени амплитуды колебаний. Поэтому в годовом ходе величина непериодической амплитуды повсеместно превышает величину периодической средней амплитуды суточного хода температуры воздуха.

Непериодическая амплитуда суточного хода температуры воздуха за 1966–2004 гг.

Станции	Месяцы											
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Лальск	7,8	9,2	10,3	10,5	11,9	12,0	11,5	10,3	8,4	5,1	5,3	6,5
Кирс	7,9	9,2	10,1	10,1	11,8	12,0	11,4	10,3	8,5	5,6	5,5	6,6
Шабалино	6,4	7,3	8,0	8,7	10,6	10,3	9,8	9,2	7,9	5,5	4,6	5,6
Киров,АМСГ	6,0	6,3	7,2	8,1	9,4	9,3	9,0	8,3	7,1	4,8	4,3	5,3
Яранск	7,8	9,1	9,7	9,4	11,9	11,5	11,3	10,8	9,0	6,2	5,1	6,5
Ижевск	6,8	7,6	8,3	8,8	11,3	11,0	10,7	10,1	8,7	5,9	5,0	5,9
Глазов	7,4	8,2	9,2	9,1	11,4	11,3	11,0	10,2	8,3	5,4	5,1	6,1
Морки	7,3	8,6	9,1	9,4	11,9	11,2	10,9	10,5	9,1	5,9	4,9	6,1
Чебоксары	6,0	6,4	6,5	7,8	9,9	9,5	9,2	8,9	7,8	5,5	4,3	5,3
Алатырь	5,7	6,6	6,4	8,5	10,7	9,8	9,7	9,7	8,4	6,0	4,4	5,2
Казань	5,9	6,3	6,6	7,7	10,0	9,5	9,2	9,0	7,8	5,3	4,2	5,2
Елабуга	6,6	7,3	8,0	9,3	11,2	10,7	10,2	10,0	8,9	5,7	4,8	5,8
Чистополь	6,1	6,1	6,7	8,1	10,4	9,9	9,5	9,2	8,3	5,7	4,6	5,6
Чулпаново	8,0	9,2	9,4	10,0	13,2	12,2	12,0	12,3	11,2	7,3	5,3	6,8
Бугульма	6,2	6,5	7,0	8,4	10,9	10,3	10,0	9,8	8,8	5,9	4,8	5,5
Ульяновск	6,9	8,1	8,7	10,2	12,6	11,5	11,2	11,2	10,0	7,3	5,3	6,2
Канатей	7,7	9,3	9,2	11,2	13,6	12,6	12,1	12,6	11,5	8,1	5,4	6,6
Серноводск	6,6	7,3	7,6	9,6	12,1	11,2	11,1	11,3	10,1	6,9	4,7	5,8
Самара	5,9	6,7	6,7	8,6	10,2	9,6	9,3	9,5	8,7	6,2	4,1	5,0
Авангард	7,7	8,7	8,3	10,8	13,9	13,1	12,9	13,1	12,0	8,3	5,5	6,9

Непериодическая амплитуда суточного хода температуры воздуха на ст. Киров, АМСГ; Казань, опорная; Самара ОГМС за 1966–2004 гг.

Амплитуды	Месяцы											
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Киров, АМСГ												
Средняя	6,0	6,3	7,2	8,1	9,4	9,3	9,0	8,3	7,1	4,8	4,3	5,3
Максим.	16,4	15,5	16,9	17,2	19,0	17,4	16,6	16,0	15,7	11,9	12,0	15,4
Год	1985	1999	1979	2001	2004	1988	2003	1982	1982	1982	1988	1998
Миним.	0,5	0,3	0,6	0,8	1,3	1,2	1,1	0,7	0,6	0,0	0,4	0,3
Год	1971	1976	1972	1970	1974	1982	1973	1968	1967	1976	2002	1971
Казань, опорная												
Средняя	5,9	6,3	6,6	7,7	10	9,5	9,2	9	7,8	5,3	4,2	5,2
Максим.	15,9	14,6	15	16,3	18,3	16,7	15,6	16,2	15,9	12,3	11,5	14,4
Год	1983	2004	1996	1999	2003	1999	1996	1997	1992	1977	1994	1987
Миним.	0,6	0	0	0,5	1,7	1,8	0,8	0,6	1,1	0,5	0,4	0,4
Год	1973	1967	1980	1980	1970	1982	1980	1980	1980	1970	1980	1973
Самара, ОГМС												
Средняя	5,9	6,7	6,7	8,6	10,2	9,6	9,3	9,5	8,7	6,2	4,1	5
Максим.	15,3	15,4	14,8	16,8	17,6	16,6	15,3	16,6	16,8	13,9	10,7	14,5
Год	1976	1994	1998	1967	1978	1995	1982	1999	1984	1974	1980	1970
Миним.	0,4	0,3	0,4	1	1,1	1,5	0	1,2	1,2	0,7	0,3	0,3
Год	1975	1976	1975	1972	1971	2002	1973	1993	1995	1974	1967	1971

Среднее квадратическое отклонение температуры воздуха $\sigma_{\text{сут}}$ за 1966–2004 гг.

Станции	Месяцы												Год
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	
Лальск	9,9	8,3	5,8	5,1	5,2	4,9	4,0	4,2	4,1	4,8	7,0	8,7	1,1
Кирс	9,4	7,7	5,6	5,2	5,4	4,8	3,9	4,2	4,2	4,9	6,6	8,3	1,1
Шабалино	8,7	7,1	5,0	5,2	5,2	4,6	3,8	4,2	4,2	4,6	6,0	7,5	1,0
Киров, АМСГ	8,3	7,0	4,8	5,2	5,4	4,8	4,0	4,4	4,4	4,8	5,9	7,3	1,1
Яранск	9,0	7,9	5,7	5,2	5,0	4,5	3,7	4,1	4,2	4,5	6,0	7,7	1,1
Кильмезь	7,6	6,7	4,7	5,6	5,4	4,8	3,8	4,2	4,5	4,7	6,2	7,3	0,9
Глазов	9,0	7,5	5,5	5,1	5,2	4,6	3,8	4,2	4,3	4,7	6,3	8,0	1,1
Ижевск	8,1	7,1	5,1	5,4	5,4	4,7	3,8	4,3	4,5	4,8	5,8	7,4	1,0
Морки	8,3	7,3	5,2	5,2	5,1	4,5	3,6	4,1	4,2	4,5	5,8	7,4	1,0
Чебоксары	7,8	6,7	4,8	5,4	5,3	4,6	3,7	4,2	4,4	4,5	5,5	6,8	1,0
Алатырь	7,6	6,7	4,9	5,4	5,2	4,4	3,6	4,1	4,4	4,5	5,4	6,7	1,1
Казань	7,8	6,9	5,0	5,4	5,2	4,6	3,7	4,2	4,5	4,6	5,2	6,7	1,1
Елабуга	8,2	7,5	4,9	5,4	5,2	4,6	3,7	4,1	4,5	4,8	5,7	7,2	0,9
Чистополь	7,1	6,6	4,8	5,6	5,3	4,6	3,6	3,9	4,4	4,5	5,8	6,9	0,9
Чуланово	8,3	7,7	5,9	5,5	4,9	4,2	3,4	3,9	4,4	4,5	5,6	7,3	1,1
Бугульма	7,2	6,6	5,0	5,8	5,6	4,7	3,9	4,4	4,9	5,1	5,3	6,4	1,0
Ульяновск	7,4	7,4	5,6	5,3	4,9	4,4	3,4	3,8	4,4	4,7	5,7	7,0	1,1
Каналей	7,9	7,5	5,8	5,1	4,8	4,2	3,5	3,9	4,4	4,6	5,4	7,2	1,1
Серноводск	7,8	7,3	5,4	5,8	5,3	4,5	3,7	4,3	4,9	4,9	5,3	7,0	1,1
Самара	7,1	6,6	5,0	5,8	5,1	4,6	3,7	4,2	4,8	4,8	4,8	6,3	1,1
Авангард	7,7	7,6	5,9	5,7	5,0	4,5	3,7	4,2	4,9	4,9	5,4	7,1	1,1

Следует отметить, что амплитуда суточного хода температуры воздуха за период 1966–2004 гг. менялась в широких пределах. Это наглядно видно из данных табл. 6.8, приведенной в качестве примера. На остальных станциях ситуация примерно та же.

Как видно из табл. 6.8, во все месяцы года могут происходить резкие изменения погоды и максимальная амплитуда может достигать 19,0°C и больше, в то же время в отдельные годы суточный ход температуры практически не проявлялся. При этом наиболее ярко суточный ход выражен на северо-западе региона.

Показателем временной изменчивости средней суточной температуры воздуха служит $\sigma_{\text{сут}}$ (табл. 6.9). Эта величина имеет хорошо выраженный годовой ход и изменяется по территории региона в январе в пределах от 7,1 (ст. Самара) до 9,9°C (ст. Лальск), а в июле от 3,4°C (ст. Ульяновск) до 4,0°C (ст. Лальск). Летом территориальные различия величины $\sigma_{\text{сут}}$ менее заметны.

Величина $\sigma_{\text{сут}}$ изменяется под влиянием циркуляционных процессов и почти в 2 раза больше более сглаженной характеристики $\sigma_{\text{мес}}$.

6.2. Экстремальные температуры воздуха

Для решения многих практических задач в области сельского и городского хозяйства, строительства и т.п. большое значение имеют максимальные и минимальные температуры воздуха. Максимальные и минимальные температуры воздуха определяют из рядов наблюдений по минимальному и максимальному термометрам, позволяющим проводить непрерывное слежение за температурой воздуха. К числу показателей, характеризующих ряд экстремальных значений, относятся средние максимальные и минимальные, а также абсолютные максимальные и минимальные температуры воздуха и средние из абсолютных максимумов и минимумов (Климатология, 1989).

Средние минимальные (максимальные) температуры вычисляются для каждого месяца из ежедневных отсчетов по минимальному (максимальному) термометру и дают представление о средней температуре воздуха в наиболее холодную (теплую) часть суток месяца.

Абсолютные минимальные и максимальные температуры воздуха характеризуют наинизшие и наивысшие пределы, которых достигала температура на данной станции за многолетний период наблюдений за отдельные месяцы и за год в целом.

Средние из абсолютных минимумов (максимумов) вычисляются осреднением самых низких (высоких) ежегодных минимумов (максимумов) температуры. Эти характеристики дают представление о той наинизшей (наивысшей) температуре, которую можно ожидать примерно один раз в два года по отдельным месяцам и за год.

На режим минимальной температуры в большей степени, чем на среднюю месячную температуру воздуха, оказывают особенности местоположения станции (характер рельефа, близость больших водоемов, микроклиматические особенности подстилающей поверхности и т.д.). Влияние форм рельефа на максимальную температуру более сглажено, особенно в теплый период, когда развито турбулентное перемешивание.

Как видно из табл. 6.10, 6.11, годовой ход средних максимумов и минимумов аналогичен годовому ходу средней месячной температуры, так как определяется теми же циркуляционными процессами и особенностями подстилающей поверхности.

Согласно (Климат России, 2001) между значениями средней месячной и средней экстремальной температуры существует достаточно тесная связь, коэффициенты корреляции для Европейской части России в течение года составляют 0,87–0,94.

На территории региона в течение года среднемесячные максимальные температуры изменяются в январе от -11,2°C (ст. Кирс) до 27,2°C (ст. Авангард) в июле, т.е. разница составляет 38,4°C. Средние минимальные температуры в годовом ходе варьируют от -19,3°C (ст. Кирс, январь) до 16,4°C (ст. Самара, июль), при разности 35,7°C.

Ярко выраженный годовой ход на территории Среднего Поволжья испытывают абсолютный максимум и абсолютный минимум температуры воздуха, дающие представление о самой высокой или низкой температуре воздуха, зафиксированной в отдельные дни (табл. 6.12, 6.13). До самой нижней отметки температура опускается в декабре – январе. Так, в январе значения абсолютного минимума температуры варьируют в пределах: -47,5°C (ст. Чистополь), -39,3°C (ст. Киров, АМСГ). В

Таблица 6.10

Средние месячные максимальные температуры воздуха (°C) за 1966–2004 гг.

Станции	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Год
Лалск	-11,0	-8,1	-0,1	7,2	14,5	20,2	22,7	19,0	12,4	4,2	-3,5	-8,3	5,9
Кирс	-11,2	-8,5	-0,5	7,4	14,9	20,6	22,9	19,1	12,6	4,1	-3,8	-8,9	5,8
Шабалино	-10,0	-7,7	-0,5	7,9	15,6	20,5	22,7	19,5	12,9	5,0	-2,7	-7,8	6,3
Киров, АМСГ	-10,3	-8,3	-0,7	7,9	15,4	20,7	22,9	19,6	13,0	4,5	-3,0	-8,0	6,1
Яранск	-9,2	-7,6	-0,5	8,8	17,0	21,8	24,0	21,0	14,4	6,1	-1,8	-6,9	7,3
Ижевск	-10,4	-8,6	-1,3	8,2	17,1	21,9	24,0	20,9	14,4	5,4	-2,8	-8,3	6,7
Глазов	-11,1	-9,1	-1,4	7,3	15,8	21,0	23,3	19,9	13,3	4,7	-3,5	-8,8	6,0
Морки	-8,9	-7,1	-0,4	9,0	17,7	22,2	24,2	21,4	14,9	6,4	-1,7	-6,9	7,5
Чебоксары	-8,5	-7,4	-1,2	8,7	17,6	21,7	23,9	21,4	14,8	6,4	-1,8	-6,8	7,4
Алатырь	-8,3	-7,0	-1,1	9,9	18,5	22	24,1	21,9	15,5	7,0	-1,2	-6,4	7,9
Казань	-8,9	-7,7	-1,0	9,2	18,0	22,3	24,3	21,9	15,4	6,6	-1,4	-6,7	7,7
Елабуга	-9,6	-8,0	-0,4	9,9	18,4	22,8	24,9	22,0	15,7	6,5	-1,7	-7,4	8,0
Чистополь	-8,4	-8,0	-1,8	8,3	17,7	22,2	24,3	21,2	15,2	6,7	-2,6	-7,0	7,3
Чупаново	-9,0	-7,9	-1,3	10,4	19,5	23,3	25,2	23,0	16,9	7,6	-1,1	-6,6	8,4
Бугульма	-9,9	-8,7	-2,2	8,6	17,8	21,8	23,6	21,2	15,2	5,9	-2,5	-7,7	7,0
Ульяновск	-7,0	-6,7	-0,2	11,0	19,6	23,6	25,3	22,9	17,0	7,9	-0,8	-5,6	8,9
Канадей	-7,5	-6,0	0,4	12,3	20,6	24,4	26,4	24,4	17,9	8,9	0,1	-5,4	9,7
Серноводск	-9,2	-8,0	-1,3	10,9	20,0	23,7	25,7	23,6	17,3	7,8	-1,2	-6,8	8,6
Самара	-8,4	-7,1	-0,5	11,4	19,8	23,8	25,7	23,7	17,4	8,2	-0,5	-6,2	8,9
Авангард	-8,5	-7,8	-1,2	12,2	21,2	25,2	27,2	25,3	18,9	9,0	-0,2	-6,1	9,6

Средние месячные минимальные температуры воздуха (°C) за 1966–2004 гг.

Станции	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Год
Лалск	-19,0	-17,3	-10,4	-3,2	2,5	8,3	11,2	8,6	3,9	-1,1	-9,0	-15,1	-3,3
Кирс	-19,3	-17,8	-10,5	-2,8	3,1	8,6	11,5	8,8	4,1	-1,7	-9,5	-15,8	-3,4
Шабалино	-16,6	-15,1	-8,4	-0,8	5,0	10,2	12,9	10,3	5,0	-0,6	-7,5	-13,6	-1,6
Киров, АМСГ	-16,5	-14,8	-7,9	-0,2	6,0	11,4	13,9	11,3	5,9	-0,4	-7,5	-13,5	-1,0
Яранск	-17,3	-16,8	-10,2	-0,6	5,1	10,2	12,6	10,2	5,4	-0,1	-7,2	-13,7	-1,8
Ижевск	-17,5	-16,3	-9,6	-0,7	5,8	10,9	13,3	10,8	5,7	-0,6	-8,0	-14,4	-1,7
Глазов	-18,7	-17,4	-10,5	-1,8	4,5	9,7	12,3	9,7	4,9	-0,9	-8,8	-15,2	-2,6
Морки	-16,5	-15,9	-9,5	-0,4	5,8	10,9	13,3	10,9	5,8	0,3	-6,8	-13,4	-1,3
Чебоксары	-14,8	-14,0	-7,8	0,9	7,5	12,3	14,7	12,4	7,0	0,8	-6,2	-12,4	0
Алатырь	-14,3	-13,7	-7,5	1,3	7,8	12,2	14,4	12,2	7,1	1,0	-5,7	-11,8	0,3
Казань	-15,1	-14,2	-7,7	1,4	8,0	12,8	15,1	12,8	7,5	1,2	-5,8	-12,2	0,3
Елабуга	-16,5	-15,4	-8,4	0,5	7,1	12,0	14,7	12,0	6,7	0,6	-6,6	-13,5	-0,3
Чистополь	-14,8	-14,4	-8,6	0,2	7,2	12,3	14,7	12,0	6,9	0,8	-7,4	-12,8	-0,3
Чулпаново	-17,1	-17,3	-10,8	0,4	6,3	11,0	13,2	10,7	5,7	0,1	-6,5	-13,7	-1,5
Бугульма	-16,4	-15,4	-9,3	0,2	6,8	11,4	13,6	11,4	6,3	-0,1	-7,4	-13,4	-1,0
Ульяновск	-14,1	-14,8	-8,9	0,8	6,9	12,1	14,1	11,7	6,9	0,5	-6,3	-12,1	-0,3
Канадей	-15,3	-15,4	-8,8	1,1	6,9	11,8	14,3	11,8	6,5	0,7	-5,4	-12,3	-0,4
Серноводск	-16,1	-15,4	-9,0	1,3	7,9	12,4	14,5	12,3	7,2	0,8	-6,1	-12,9	-0,3
Самара	-14,5	-13,9	-7,2	2,8	9,5	14,2	16,4	14,2	8,8	2,0	-4,8	-11,5	1,3
Авангард	-16,4	-16,5	-9,5	1,3	7,3	12	14,3	12,2	6,9	0,5	-5,9	-13,2	-0,6

Таблица 6.12

Абсолютный максимум температуры воздуха (°C)

Станции	Месяцы											
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Лалск	3,2	5,4	15,1	26,8	30,7	34,4	35,4	32,0	28,3	22,0	8,2	3,8
Кирс	1,7	4,6	12,9	26,0	31,0	34,2	33,8	33,0	29,6	21,6	7,5	4,0
Шабалино	3,2	5,4	12,9	25,8	30,0	33,8	34,7	31,7	29,9	23,0	8,4	4,8
Киров, АМСГ	1,9	4,4	12,3	26,3	30,0	34,5	33,9	33,7	30,1	22,6	9,0	4,0
Яранск	3,0	5,6	13,5	25,5	30,6	35,4	35,7	34,3	32,6	23,4	9,9	5,0
Кильмезь	3,8	6,1	12,5	27,9	30,6	35,6	34,6	34,8	32,4	22,7	9,8	6,7
Глазов	1,7	3,6	9,8	26,2	30,2	34,5	34,9	33,8	31,0	22,0	7,4	4,0
Ижевск	2,4	4,6	10,1	27,5	31,1	35,6	35,0	34,6	33,0	22,4	8,8	3,5
Морки	2,7	5,7	12,5	26,7	31,0	35,5	35,9	34,6	31,5	23,4	10,2	5,5
Чебоксары	4,5	4,8	13,5	26,0	31,0	35,2	36,2	34,9	30,2	25,0	9,5	5,3
Алатырь	3,0	5,2	14,4	27,1	35,5	36,1	36,9	35,9	31,5	25,5	13,0	5,3
Казань	3,5	5,2	10,9	26,9	30,8	36,1	35,3	35,2	32,0	23,4	10,5	6,0
Елабуга	3,7	5,6	13,7	28,1	32,0	36,8	35,0	35,4	31,6	24,2	10,0	4,6
Чистополь	2,5	3,3	9,2	26,7	30,6	35,7	35,8	34,3	30,8	23,5	9,3	4,8
Чулпаново	3,6	5,7	13,5	29,2	32,4	37,2	37,3	35,6	33,3	24,4	11,9	6,0
Бугульма	2,8	3,6	13,1	28,1	30,9	36,8	36,0	34,2	32,6	22,3	9,0	4,5
Ульяновск	4,5	6,5	15,8	27,8	32,6	37,5	37,8	36,2	32,5	26,0	14,3	7,3
Канадей	4,6	7,2	16,1	29,2	33,2	39,0	41,2	37,0	33,0	26,3	15,5	9,2
Серноводск	2,7	5,1	15,5	29,6	32,3	37,7	36,9	36,3	33,9	24,7	13,5	6,6
Самара	3,6	6,8	15,8	29,2	31,7	37,2	39,0	36,1	33,8	25,5	12,7	7,3
Авангард	4,3	5,2	18,4	30,4	35,3	39,5	40,0	39,5	35,0	25,7	14,0	7,5

Абсолютный минимум температуры воздуха (°С)

Станции	Месяцы											
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Лальск	-47,1	-42,9	-37,5	-27,0	-14,2	-3,8	-0,1	-3,6	-8,5	-22,9	-38,6	-47,9
Кирс	-47,0	-42,5	-35,3	-27,5	-9,9	-4,2	-0,7	-4,2	-7,0	-20,5	-38,5	-51,2
Шабалино	-42,9	-36,0	-31,0	-20,3	-6,6	-0,6	3,8	-0,5	-7,0	-17,5	-32,3	-47,9
Киров, АМСГ	-39,3	-35,2	-27,9	-19,7	-6,4	-0,2	3,3	1,4	-5,7	-14,1	-30,4	-44,8
Яранск	-44,8	-42,3	-33,1	-20,8	-6,9	-1,6	3,5	-1,1	-7,7	-15,9	-31,0	-50,0
Кильмезь	-41,0	-40,7	-30,5	-18,2	-5,6	-2,4	4,3	0,5	-5,6	-15,7	-31,9	-51,6
Глазов	-45,3	-43,7	-36,0	-23,0	-8,9	-3,0	1,9	-2,3	-5,6	-21,5	-33,2	-49,7
Ижевск	-46,8	-39,1	-31,9	-19,1	-6,0	-1,9	4,3	-1,7	-5,5	-17,2	-33,5	-47,5
Морки	-44,3	-39,1	-33,0	-20,1	-4,5	-1,6	4,2	-0,7	-5,3	-17,0	-28,8	-51,5
Чебоксары	-41,3	-35,0	-27,3	-16,4	-3,8	0,2	5,0	2,5	-4,1	-15,3	-28,7	-44,3
Алатырь	-43,7	-34,7	-28,8	-14,2	-3,8	-0,4	5,0	0,7	-4,2	-15,1	-27,2	-44,0
Казань	-45,1	-34,2	-29,5	-14,2	-3,0	0,8	6,3	2,5	-4,1	-12,3	-28,0	-43,7
Елабуга	-38,3	-36,1	-25,9	-15,2	-4,1	-0,6	1,6	1,5	-3,5	-15,4	-28,7	-42,4
Чистополь	-47,5	-36,9	-30,6	-15,7	-3,2	-0,7	5,2	1,6	-3,9	-15,6	-29,5	-46,4
Чулпаново	-40,6	-40,8	-35,0	-18,2	-4,0	-1,5	4,4	-0,7	-4,4	-23,2	-33,3	-41,1
Бугульма	-45,9	-35,5	-30,2	-17,5	-5,1	-2,4	4,3	0,3	-4,8	-16,4	-29,9	-46,7
Ульяновск	-43,7	-35,5	-32,8	-16,1	-6,5	-1,3	4,6	-0,2	-4,9	-16,3	-29,6	-42,7
Канадей	-42	-38,6	-30,2	-12,4	-6,9	-1,6	5,4	0,1	-5,7	-14,6	-33,9	-40,4
Серноводск	-41,2	-37,1	-30,7	-15,8	-5,3	-1,4	6,1	1,5	-5,0	-17,6	-30,6	-42,5
Самара	-42,0	-33,0	-27,2	-12,2	-2,1	2,2	7,8	4,7	-3,1	-11,5	-26,1	-42,3
Авангард	-40,0	-37,5	-31,2	-15,8	-7,4	-0,6	4,7	0,7	-6,4	-17,3	-31,7	-41,7

декабре на станциях Кирс, Кильмезь, Морки абсолютный минимум ниже -51°C . При этом почти повсеместно, за исключением июля, абсолютные минимумы температуры отрицательны; в августе положительные на станциях, расположенных южнее Чебоксар (за исключением ст. Чулпаново и Ульяновска).

Абсолютный максимум температуры формируется в летние месяцы. Так, в июле на ст. Канадей он достигает $41,2^{\circ}\text{C}$. Наиболее жаркие месяцы июнь–август. В январе (самом холодном месяце года) также возможно появление положительных температур: от $1,7^{\circ}\text{C}$ (ст. Кирс) до $4,6^{\circ}\text{C}$ (ст. Канадей). Таким образом, на всей территории Среднего Поволжья в течение всего года на всех станциях отмечаются лишь положительные значения абсолютного максимума температуры. В зимние месяцы это следствие адвекции тепла.

Первоисточником суточных колебаний температуры является солнечная радиация, поглощаемая земной поверхностью. Летом приток солнечной радиации к земной поверхности в околополуденные часы значительно больше, чем зимой. Вследствие этого амплитуда суточного хода температуры воздуха вблизи земной поверхности летом почти в 2 раза больше, чем зимой (Матвеев, 2000).

Данные табл. 6.14 позволяют оценить степень неустойчивости температурного режима на территории рассматриваемого региона за счет значительных изменений температуры (на 5°C и более за сутки). Как видно, наиболее неустойчивая погода формируется в холодный период, а наиболее стабильная, как и следовало ожидать, в теплый.

Данные этой таблицы также свидетельствуют о том, что в декабре–феврале повторяемость резких изменений температуры в течение суток выше 20%. Среди зимних месяцев выделяется январь. Так, повторяемость резких изменений температуры в январе на ст. Лальск достигает 38,2%. На других станциях она колеблется от 20,8 до 36,1%. В теплый период подобные скачки температуры происходят не столь часто. Так, в июле их повторяемость колеблется от 1,1 до 5,4%.

Как отмечено в (Климат России, 2001), межсуточная изменчивость температуры воздуха является одним из показателей изменчивости погоды и зависит главным образом от адвективного фактора. Средняя межсуточная изменчивость колеблется от $2\text{--}5^{\circ}\text{C}$ зимой до $1\text{--}2^{\circ}\text{C}$ летом. Наибольшая ее повторяемость приходится на $\pm 2^{\circ}\text{C}$, однако отде-

Повторяемость (в %) резких изменений температуры воздуха (на 5 град. и более за сутки) за 1966–2004 гг.

Станции	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Лальск	38.2	30.3	15.3	10.9	11.5	9.1	5.4	3.5	3.9	6.9	19.1	31.0
Кирс	36.1	26.0	13.4	9.3	14.3	9.3	3.9	3.7	5.2	7.4	18.5	30.8
Киров, АМСГ	30.3	22.1	6.8	8.0	12.6	8.9	4.5	3.3	5.1	6.0	13.8	24.4
Шабалино	30.3	23.3	8.1	7.2	12.0	7.5	3.6	3.7	3.8	7.1	14.2	25.1
Яранск	32.9	29.9	13.8	7.6	11.2	7.7	3.0	3.3	4.5	8.1	14.0	27.7
Ижевск	32.3	22.1	8.9	6.8	13.9	9.0	3.6	4.1	6.2	5.9	16.4	26.9
Глазов	34.7	27.3	12.2	7.6	14.1	7.7	3.6	3.7	5.4	6.2	17.2	29.7
Морки	30.8	22.6	8.6	6.6	12.0	7.3	3.4	3.8	5.5	7.3	12.5	25.3
Чебоксары	24.0	18.1	5.0	6.0	11.2	6.6	2.7	4.0	4.8	6.5	10.6	22.5
Алатырь	23.5	20.1	5.5	6.2	10.5	5.5	2.9	3.0	5.3	7.6	8.7	21.3
Казань, ЦГМС	27.0	19.9	6.7	6.8	12.2	7.0	3.6	4.4	5.3	6.8	9.7	21.1
Елабуга	28.1	21.5	6.2	6.8	12.8	5.6	2.6	3.8	5.5	5.8	11.8	23.7
Чистополь, АМСГ	17.9	14.0	4.5	3.9	8.5	4.2	1.7	3.2	3.2	4.1	8.3	16.5
Чулпаново	31.0	28.7	10.8	6.2	10.6	5.5	2.6	4.2	5.3	6.9	11.4	26.4
Бугульма	25.2	18.0	6.4	9.3	15.8	7.9	4.1	5.0	6.8	8.5	10.5	21.2
Ульяновск	20.8	19.9	6.1	5.4	8.4	4.6	1.1	2.8	3.8	6.2	8.5	19.2
Кандей	29.7	25.0	8.3	6.6	9.5	5.9	2.1	3.6	5.4	8.4	9.5	26.3
Серноводск	28.4	23.9	7.6	9.4	12.8	6.5	3.6	5.3	6.8	7.4	10.5	24.9
Самара, ОГМС	22.7	18.1	5.3	7.9	10.3	6.7	2.7	4.7	5.0	6.5	7.6	19.4
Авангард	29.9	25.1	8.6	7.6	12.5	7.1	3.8	5.7	7.9	9.3	10.7	26.1

льные перепады температуры между соседними сутками могут отклоняться от указанных значений и достигать $\pm 20^{\circ}\text{C}$ в холодный период и $\pm 10, \dots, 15^{\circ}\text{C}$ в теплый.

Одним из показателей суровости климата служат сильные зимние морозы. Понижение температуры воздуха ниже -40°C считается опасным явлением, так как оказывает отрицательное воздействие на человека, окружающую его природную среду и объекты сельского и городского хозяйства.

Знаковым событием считается и переход температуры через -30°C . Однако это событие происходит не так часто, а в последние годы отмечено снижение числа морозных дней с температурой -30°C и ниже в связи с тенденцией потепления климата. Согласно данным табл. 6.15, в январе повторяемость сильных морозов (-30°C и ниже) по минимальной температуре достигает 17,8% (ст. Кирс), а по среднесуточной температуре 7,6%.

Таблица 6.15

Повторяемость (в %) сильных морозов (-30°C и ниже) за 1966–2004 гг.

Станции	Месяцы				
	XI	XII	I	II	III
Лальск	1.4	9.2	17.5	11.9	1.9
	0.2	2.8	8.9	2.7	0.0
Кирс	0.9	8.2	17.8	10.4	1.4
	0.1	2.7	7.6	2.4	0.0
Киров, АМСГ	0.1	2.5	7.7	3.1	0.0
	0.0	1.2	3.4	1.5	0.0
Шабалино	0.3	3.0	8.5	3.6	0.2
	0.1	1.0	4.1	1.0	0.0
Яранск	0.2	4.5	12.7	9.3	0.6
	0.0	1.2	4.5	1.8	0.0
Ижевск	0.2	3.5	8.5	4.6	0.3
	0.0	1.2	3.1	1.5	0.0
Глазов	0.4	5.8	12.9	7.1	0.9
	0.0	1.9	6.5	1.5	0.0
Морки	0.0	3.3	8.9	5.3	0.5
	0.0	0.9	2.7	0.9	0.0

Окончание табл. 6.15

Станции	Месяцы				
	XI	XII	I	II	III
Чебоксары	0.0	1.3	4.1	1.5	0.0
	0.0	0.6	1.4	0.3	0.0
Алатырь	0.0	1.0	3.8	1.6	0.0
	0.0	0.4	1.2	0.5	0.0
Казань	0.0	1.5	3.7	2.4	0.0
	0.0	0.2	1.6	1.1	0.0
Елабуга	0.0	2.1	6.3	3.5	0.1
	0.0	0.8	2.2	1.4	0.0
Чистополь	0.0	1.2	1.8	1.1	0.1
	0.0	0.7	0.7	0.3	0.0
Чулпаново	0.2	4.5	9.3	8.2	1.0
	0.0	0.9	2.8	1.6	0.0
Бугульма	0.0	2.1	4.7	3.1	0.1
	0.0	0.4	1.5	1.1	0.0
Ульяновск	0.0	1.5	1.3	2.9	0.2
	0.0	0.5	0.4	1.1	0.0
Канадей	0.3	2.5	6.0	4.9	0.1
	0.0	0.4	1.2	0.9	0.0
Серноводск	0.1	2.6	4.5	4.1	0.2
	0.0	0.7	1.7	1.3	0.0
Самара, ОГМС	0.0	0.6	1.8	1.7	0.0
	0.0	0.2	0.5	0.2	0.0
Авангард	0.3	3.2	5.0	6.2	0.2
	0.0	0.7	1.4	0.9	0.0

Примечание: в верхней строчке по минимальной температуре, в нижней – по среднесуточной.

В заключение отметим, что в качестве характеристики неустойчивости метеорологических процессов используются значения $\sigma_{\text{сут}}$. Из табл. 6.16 видно, что $\sigma_{\text{сут}}$ минимальных температур холодного периода превышают $\sigma_{\text{сут}}$ максимальных, а в теплый период картина обратная, т.е. ночные температуры имеют более стабильный характер, чем максимальные – дневные.

Таблица 6.16

Средние квадратические отклонения $\sigma_{\text{сут}}$ экстремальных температур воздуха ($^{\circ}\text{C}$) за 1966–2004 гг.

Станции	Месяцы												Год
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	
	Средняя максимальная температура												
Лалек	9,1	7,0	4,8	6,1	6,6	5,9	5,1	5,3	5,1	5,2	6,1	7,9	1,2
Нагорское	8,3	6,5	4,7	6,2	6,6	5,7	5,0	5,4	5,3	5,3	5,6	7,3	1,2
Кирс	8,4	6,5	4,8	6,2	6,7	5,9	5,0	5,4	5,4	5,5	5,7	7,6	1,2
Шабалино	8,1	6,4	4,7	6,2	6,3	5,4	4,6	5,2	5,2	5,3	5,5	7,1	1,1
Киров, АМСГ	7,9	6,5	4,5	6,1	6,3	5,5	4,8	5,3	5,3	5,4	5,4	7,0	1,2
Фаленки	8,2	6,5	4,6	6,1	6,5	5,6	4,9	5,3	5,4	5,3	5,5	7,4	1,2
Санчурск	8,0	6,6	4,7	6,5	6,1	5,3	4,6	5,2	5,4	5,4	5,2	6,8	1,1
Уржум	7,8	6,6	4,6	6,4	6,3	5,5	4,6	5,2	5,5	5,4	5,4	7,0	1,2
В. Поляны	7,7	6,5	4,6	6,7	6,5	5,4	4,5	5,2	5,7	5,5	5,3	6,8	1,2
Средняя минимальная температура													
Лалек	10,9	10,0	8,2	5,6	4,5	4,6	3,7	4,1	4,2	5,1	8,3	9,9	1,1
Нагорское	9,1	7,8	6,0	5,2	4,8	4,6	3,6	3,9	4,0	4,8	7,7	8,3	1,1
Кирс	10,6	9,3	7,7	5,7	4,6	4,6	3,6	4,0	4,1	5,2	8,0	9,5	1,1
Шабалино	9,3	8,1	6,3	4,8	4,6	4,2	3,3	3,9	4,0	4,6	7,0	8,3	1,0
Киров, АМСГ	8,8	7,7	5,8	4,8	4,7	4,4	3,4	3,9	4,0	4,6	6,6	7,9	1,0
Фаленки	9,4	8,2	6,5	5,0	4,5	4,3	3,4	3,8	3,9	4,6	7,1	8,5	1,0
Санчурск	9,6	8,8	7,1	4,8	4,5	4,1	3,3	3,8	4,0	4,4	7,1	8,6	1,1
Уржум	8,9	7,7	6,1	5,0	4,7	4,3	3,3	3,8	3,9	4,5	6,8	8,0	1,0
В. Поляны	9,1	8,3	6,6	4,9	4,7	4,2	3,3	3,8	4,1	4,5	6,9	8,2	1,0

6.3. Межгодовые изменения температуры воздуха

Как известно, в середине 70-х гг. XX столетия в глобальном масштабе произошел устойчивый переход к аномалии температуры воздуха выше 0°C относительно базового периода 1961–1990 гг. Аналогичная ситуация сложилась в целом по России и, в частности, на территории Среднего Поволжья.

Для выделения систематической составляющей изменений температуры для всех месяцев года были построены линейные тренды для 21 метеостанции, равномерно покрывающих исследуемую территорию:

$$y(\tau) = a\tau + b, \quad (6.1)$$

где $y(\tau)$ – сглаженное значение температуры воздуха на момент времени τ ($\tau = 1, 2, 3, \dots, n$), a – угловой коэффициент наклона линии тренда (КНЛТ), характеризует скорость изменения температуры, b – свободный член (начальное значение линии тренда). Положительное значение коэффициента a указывает на рост температуры (потепление климата), а отрицательное – на похолодание климата.

Расчеты показали, что наиболее значительные положительные изменения температурного режима происходят в январе и феврале. Величина КНЛТ в январе меняется по территории региона незначительно (в пределах 1,58–1,92°C/10 лет) соответственно величина R^2 принимает значения 16–27%, что свидетельствует о статистической значимости повышения температуры (табл. 6.17, рис. 6.4). В феврале численные значения величины КНЛТ несколько меньше, чем в январе. Пространственной закономерности в распределении КНЛТ не прослеживается. В теплый период величина КНЛТ заметно ниже, чем в холодный. Следует отметить, что в мае, августе, ноябре значения КНЛТ отрицательны, что указывает на понижение температуры воздуха. Особенно велики значения этого параметра в ноябре (величина КНЛТ меняется от -0,33 до -0,9°C/10 лет), причем на севере (Кировская область) это похолодание более заметно. Отметим, что в июне и июле температура воздуха имеет тенденцию к повышению. В целом за год для всех станций региона наблюдается четко выраженный положительный тренд.

Таблица 6.17

Коэффициент наклона линии тренда для средних температур (град/10 лет)

Станции	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Год
Лалыск	1,58	1,29	0,30	0,20	0,02	0,48	0,51	-0,22	0,31	0,57	-0,90	0,28	0,36
Кирс	1,80	1,17	0,40	0,13	0,08	0,67	0,48	-0,20	0,21	0,58	-0,78	0,36	0,39
Киров	1,66	1,15	0,51	0,20	-0,03	0,52	0,54	-0,33	0,25	0,60	-0,60	0,37	0,40
Шабалино	1,67	1,19	0,46	0,25	-0,10	0,34	0,52	-0,30	0,33	0,45	-0,67	0,39	0,36
Яранск	1,82	1,35	0,45	0,03	-0,15	0,40	0,46	-0,32	0,22	0,43	-0,60	0,34	0,36
Кильмезь	1,34	1,06	0,77	0,89	-0,40	0,48	1,00	0,27	0,61	0,91	-0,37	-0,09	0,56
Глазов	1,77	1,38	0,53	0,00	0,00	0,51	0,48	-0,32	0,16	0,06	-0,57	0,08	0,36
Ижевск	1,67	1,18	0,57	0,12	-0,01	0,56	0,61	-0,28	0,04	0,61	-0,59	-0,02	0,38
Чебоксары	1,86	1,30	0,59	0,29	-0,12	0,46	0,47	-0,33	0,02	0,55	-0,54	0,54	0,35
Алатырь	1,92	1,11	0,48	0,09	-0,30	0,33	0,48	-0,26	0,15	0,44	-0,46	0,35	0,34
Морки	1,85	1,33	0,42	0,02	-0,14	0,41	0,50	-0,23	0,18	0,47	-0,61	0,33	0,41
Канадей	1,92	1,45	0,52	-0,16	-0,49	0,23	0,30	-0,24	0,13	0,48	-0,45	0,24	0,33
Ульяновск	1,85	1,35	0,49	-0,08	-0,37	0,34	0,47	-0,24	0,13	0,55	-0,54	0,28	0,35
Казань	1,91	1,39	0,66	0,21	-0,19	0,41	0,56	-0,02	0,23	0,64	-0,40	0,40	0,47
Елабуга	1,83	1,34	0,51	0,00	-0,20	0,48	0,50	-0,23	0,13	0,68	-0,56	0,32	0,40
Чистополь	1,64	1,20	0,52	0,22	-0,23	0,43	0,42	-0,24	0,16	0,55	-0,43	0,26	0,38
Бугульма	1,72	1,02	0,37	-0,15	-0,03	0,45	0,40	-0,21	0,11	0,70	-0,54	0,19	0,32
Чулпаново	1,84	1,44	0,43	-0,13	-0,34	0,04	0,31	-0,27	0,10	0,60	-0,61	0,13	0,32
Авангард	1,79	1,42	0,19	-0,39	-0,51	0,25	0,10	-0,39	-0,04	0,64	-0,55	0,17	0,21
Самара	1,84	1,35	0,59	-0,02	-0,31	0,53	0,52	-0,15	0,18	0,71	-0,33	0,63	0,46
Серноводск	1,78	1,34	0,42	-0,23	-0,46	0,31	0,26	-0,42	0,00	0,66	-0,55	0,15	0,25

Для оценки степени связности в поле температуры на территории Среднего Поволжья между станциями рассчитывались коэффициенты корреляции для всех месяцев года. В качестве центральной станции была взята Казань, опорная, затем рассчитывались величины r между указанной станцией и всеми остальными. В зимний период расположение изокоррелят носит приблизительно круговой характер, практически на рассматриваемой территории семи субъектов РФ величина r принимает значения не ниже 0,9 (самые низкие значения на крайнем севере Кировской области). Поскольку коэффициенты r рассчитывались для территории всего ПФО, то обращает на себя внимание ослабление корреляционной связи в северном и юго-восточном направлениях (ближе к границе округа $r \sim 0,8$). Таким образом, в зимние месяцы – декабре, январе и феврале картина весьма однородная и связи на рассматриваемой территории высоки. В марте происходит заметная перестройка во внешнем виде поля изокоррелят, статистические связи в поле температуры несколько ослабевают, а изокорреляты не имеют четко выраженного кругового характера.

В июле изокорреляты имеют овальную форму вытянутую в северном направлении, а изокорреляты $r = 0,98$ оконтуривает незначительную площадь в районе Казани по сравнению с зимой. В ноябре изокорреляты приобретают форму эллипса с главной осью вытянутой с юго-запада на северо-восток.

Таким образом, корреляционный анализ показал, что поле температуры на территории всего ПФО является достаточно однородным, с высокими корреляционными связями и находится под воздействием однотипных циркуляционных, радиационных и других факторов.

Анализ линейных трендов максимальных и минимальных температур по территории Среднего Поволжья показывает, что наибольшие значения положительных скоростей отмечаются в январе: для максимальных температур (0,17–0,19°C/10 лет), для минимальных (0,14–0,18°C/10 лет). Наименьшие значения в случае максимальных температур характерны для апреля (0,02–0,06°C/10 лет), а для минимальных температур в апреле устанавливаются отрицательные значения тенденции температуры (правда, достаточно слабые) и для июля близкие к нулевым. В годовом плане для экстремальных температур (максимальных и минимальных) тренд положителен.

Таблица 6.18

Коэффициенты корреляции между температурой воздуха и индексом САК в период 1966–2004 гг.

Станция	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Год
Лалек	0,48	0,60	0,50	0,13	-0,09	-0,06	0,08	0,00	0,26	0,01	0,05	0,15	-0,20
Кирс	0,46	0,54	0,40	0,02	-0,13	-0,14	0,02	0,06	0,34	-0,08	0,08	0,14	-0,19
Шабалино	0,49	0,58	0,42	0,06	-0,16	-0,14	0,04	0,03	0,19	-0,03	0,07	0,11	-0,22
Киров	0,48	0,53	0,34	0,04	-0,15	-0,16	0,04	0,04	0,27	-0,06	0,05	0,13	-0,21
Яранск	0,48	0,60	0,42	0,04	-0,17	-0,19	0,01	-0,03	0,19	-0,04	0,10	0,09	-0,19
Ижевск	0,46	0,49	0,27	-0,03	-0,23	-0,15	0,03	0,03	0,31	-0,12	0,07	0,05	-0,20
Глазов	0,46	0,53	0,31	-0,04	-0,21	-0,12	0,03	0,07	0,33	-0,09	0,08	0,08	-0,20
Морки	0,48	0,60	0,35	-0,02	-0,23	-0,20	0,00	-0,03	0,18	-0,06	0,11	0,03	-0,19
Чебоксары	0,54	0,61	0,48	0,05	-0,17	-0,25	-0,08	0,01	0,09	-0,03	0,02	-0,01	-0,18
Алатырь	0,49	0,61	0,35	-0,01	-0,25	-0,24	-0,02	-0,01	0,06	-0,06	0,01	-0,10	-0,18
Казань	0,47	0,55	0,25	0,00	-0,32	-0,25	-0,02	-0,08	0,17	-0,08	0,03	-0,02	-0,23
Елабуга	0,47	0,51	0,26	-0,03	-0,30	-0,27	0,04	-0,07	0,25	-0,09	0,12	-0,01	-0,19
Чистополь	0,48	0,50	0,28	-0,04	-0,32	-0,30	0,02	-0,08	0,19	-0,09	0,07	-0,04	-0,18
Чуланово	0,49	0,52	0,27	-0,04	-0,32	-0,33	-0,02	-0,12	0,18	-0,07	0,07	-0,09	-0,20
Бугульма	0,43	0,44	0,21	-0,07	-0,33	-0,30	-0,03	-0,13	0,17	-0,15	0,08	-0,10	-0,18
Ульяновск	0,51	0,55	0,34	-0,02	-0,32	-0,31	-0,07	-0,10	0,16	-0,05	0,05	-0,09	-0,20
Канадей	0,54	0,54	0,31	0,03	-0,31	-0,33	-0,13	-0,12	0,11	-0,02	0,06	-0,15	-0,21
Серноводск	0,47	0,46	0,26	-0,06	-0,34	-0,32	-0,08	-0,19	0,18	-0,13	0,04	-0,12	-0,21
Самара	0,49	0,47	0,23	-0,03	-0,35	-0,34	-0,11	-0,16	0,09	-0,13	0,02	-0,16	-0,23
Авангард	0,50	0,45	0,24	-0,05	-0,32	-0,30	-0,08	-0,25	0,18	-0,11	0,06	-0,17	-0,21

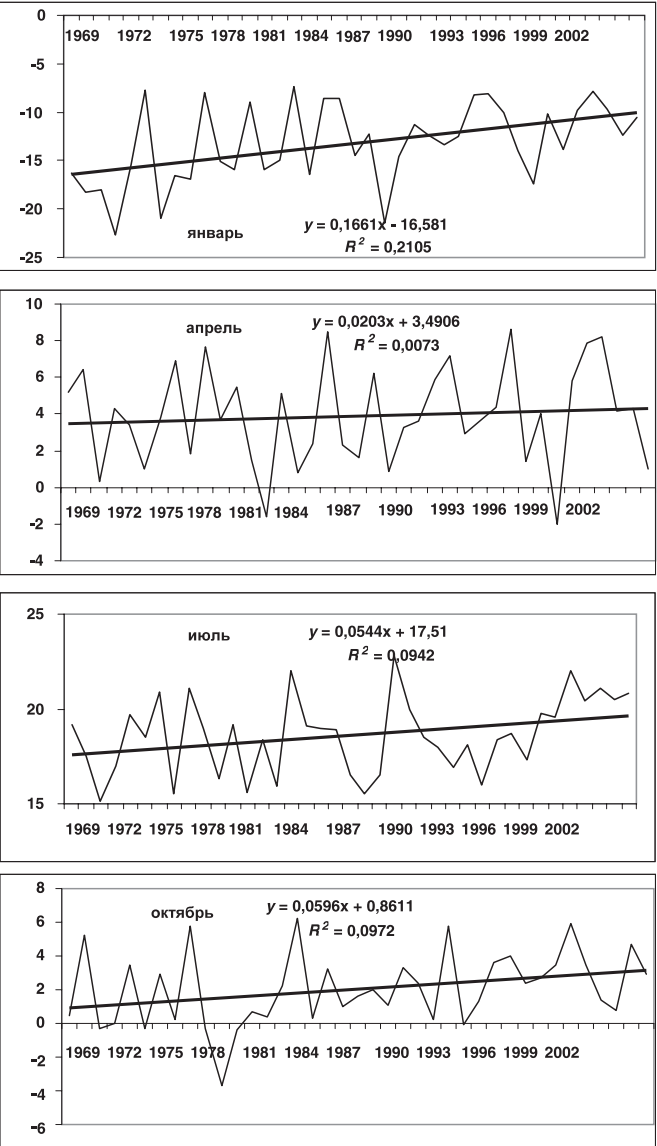


Рис. 6.4. Межгодовые изменения и линейные тренды температуры воздуха на ст. Киров (1966–2004 гг.)

Таблица 6.19

Средние температуры воздуха (°C) на ст. Киров в холодное (1966–1975 гг.) и теплое (1995–2004 гг.) десятилетия

Годы	Янв.	Фев.	Март	Апр.	Май	Июнь	Июль	Авг.	Сен.	Окт.	Нояб.	Дек.	Год
Средняя температура воздуха													
1995–2004	-11,6	-9,9	-3,3	4,3	10,7	17,0	19,9	15,2	9,8	3,2	-5,3	-11,1	3,3
1966–1975	-16,1	-12,8	-4,6	4,1	10,6	15,6	18,4	16,3	9,3	1,7	-4,2	-11,1	2,3
Разность	4,5	2,9	1,3	0,2	0,1	1,4	1,5	-1,1	0,5	1,5	-1,1	0,0	1,0
Максимальная температура воздуха													
1995–2004	-8,5	-6,7	0,4	8,9	15,5	21,9	24,9	19,8	14,0	5,8	-3,0	-8,3	7,1
1966–1975	-13,3	-9,8	-1,5	7,6	14,6	19,6	22,1	20,2	12,6	3,9	-2,4	-8,9	5,4
Разность	4,8	3,1	1,9	1,3	0,9	2,3	2,8	-0,4	1,4	1,9	-0,6	0,6	1,7
Минимальная температура воздуха													
1995–2004	-15,0	-13,8	-7,5	-0,5	5,4	11,6	14,1	10,9	6,1	0,6	-7,9	-14,4	-0,9
1966–1975	-19,1	-16,1	-7,9	0,3	6,0	10,8	14,0	12,0	5,8	-0,6	-6,2	-13,4	-1,2
Разность	4,1	2,3	0,4	-0,8	-0,6	0,8	0,1	-1,1	0,3	1,2	-1,7	-1,0	0,3

Таким образом, потепление в Среднем Поволжье формируется за счет зимних месяцев, летний же период отличается слабым ростом температуры воздуха.

Расчет коэффициентов корреляции между температурой воздуха на станциях и индексом Северо-Атлантического колебания по среднемесячным значениям параметров за 1966–2004 гг. выявил достаточно устойчивые связи лишь для января–февраля, что свидетельствует о заметной роли циркуляционных процессов в формировании температурного региона наиболее холодных месяцев зимы (табл. 6.18).

Следует также отметить значительный перепад температур в зимний период между наиболее теплой (1995–2004 гг.) и холодной декадой (1966–1975 гг.) рассматриваемого периода, что видно из табл. 6.19. Причем повсеместно наблюдается рост среднегодовых температур. По сути современное потепление климата нашло свое отражение почти во все месяцы года, кроме августа и ноября. Причем наиболее устойчивым является период январь–март, для которого разности температур (включая максимальную и минимальную) положительны. Менее устойчивы показатели для минимальной температуры.

6.4. Заморозки и оттепели

Заморозки

Под заморозком понимается понижение минимальной температуры ниже 0°C на поверхности почвы и в приземном слое воздуха на фоне устойчивых положительных среднесуточных температур.

В зависимости от процесса образования выделяют три типа заморозков: адвективные, радиационные и адвективно-радиационные. Адвективные заморозки образуются в результате вторжения холодных воздушных масс с температурой ниже 0°C, наблюдаются, как правило, в течение нескольких суток подряд и могут охватывать большие районы.

Радиационные заморозки образуются в тихие ясные ночи в результате охлаждения почвы вследствие эффективного излучения земной поверхности. При этом типе микроклиматические различия интенсивности заморозка выражены очень резко в отличие от адвективных заморозков.

Адвективно-радиационные заморозки образуются в результате вторжения холодных воздушных масс с последующим их выхолаживанием за счет ночного эффективного излучения. Заморозки этого типа наблюдаются при достаточно высоких среднесуточных температурах и поэтому являются наиболее опасными для сельскохозяйственных растений.

На образование заморозков большое влияние оказывают местные физико-географические особенности расположения метеостанций (высота над уровнем моря, рельеф, характер растительности, близость водоемов), поэтому в территориальном распределении заморозков отмечается значительное разнообразие.

Заморозки в умеренной зоне — нормальное климатическое явление для переходных периодов года. Однако в отдельные годы заморозки наносят значительный ущерб сельскому хозяйству, особенно если они случаются поздней весной или ранней осенью. К концу весны, когда после теплого периода растения развились, внезапное и сравнительно небольшое охлаждение воздуха может повредить сельскохозяйственные культуры на больших площадях. Кратковременные заморозки могут нанести ущерб и ранней осенью, когда вегетация еще не закончилась и не везде еще снят урожай.

Среднее многолетнее число дней с заморозками в воздухе на территории Среднего Поволжья меняется от 15 до 42 дней (табл. 6.20). Наибольшее количество заморозков отмечается в апреле (7–15 дней) и в октябре (7–12 дней). В мае и сентябре заморозков меньше (1–10 дней), в июне и августе заморозки отмечаются только в северной части исследуемой территории. Однако, несмотря на небольшую повторяемость, заморозки в эти месяцы наиболее опасны для сельского хозяйства и садоводства, т.к. растения активно вегетируют и их морозостойкость ослаблена.

В целом можно отметить хорошо выраженное широтное изменение повторяемости заморозков: с севера на юг наблюдается заметное уменьшение дней с заморозками. Наибольшее число дней с заморозками отмечается на северо-западе Кировской области на станции Лальск (42 дня), наименьшее — в Самарской области на станции Самара (15 дней). При этом в отдельных районах Среднего Поволжья эта закономерность нарушается, так как на возникновение заморозков большое

влияние оказывают рельеф и характер подстилающей поверхности. Так, на территории республики Чувашия и западных районов Татарстана наблюдается локальный минимум повторяемости заморозков (16–20 дней), что объясняется тепляющим влиянием р. Волга и Куйбышевского водохранилища. В западных районах Ульяновской области выделяется локальный максимум повторяемости заморозков (28–31 дней) на станциях Сурское, Инза, Канадей, которые расположены в узких долинах малых рек (Сура, Инза и Сызрань) на Приволжской возвышенности, что способствует стеканию холодного воздуха со склонов, его застою и радиационному выхолаживанию в ночное время.

Таблица 6.20

Среднее многолетнее число дней с заморозками

Станции	Апрель	Май	Июнь	Август	Сентябрь	Октябрь	Всего
Лальск	14	10	1	1	6	10	42
Кирс	14	9	1	1	5	9	39
Шабалино	13	5	0	0	4	10	32
Киров	11	3	0	0	3	9	26
Яранск	12	4	0	0	3	11	30
Кильмезь	12	2	0	0	2	9	25
Глазов	13	6	1	0	4	9	33
Ижевск	11	4	0	0	3	9	27
Морки	12	3	0	0	2	11	28
Чебоксары	9	1	0	0	1	8	19
Алатырь	9	1	0	0	1	9	20
Казань	8	1	0	0	1	8	18
Елабуга	10	2	0	0	2	9	23
Чистополь	9	1	0	0	1	8	19
Чулпаново	9	3	0	0	3	11	26
Бугульма	9	3	0	0	3	10	25
Ульяновск	12	2	0	0	1	10	25
Канадей	12	2	0	0	2	12	28
Серноводск	9	2	0	0	2	10	23
Самара	7	1	0	0	0	7	15
Авангард	10	3	0	0	2	11	26

В отдельные годы и месяцы количество дней с заморозками может намного превышать их средние многолетние значения (табл. 6.21).

Таблица 6.21

Максимальное число дней с заморозками

Станции	Апрель	Май	Июнь	Июль	Август	Сентябрь	Октябрь
Лальск	26	24	4	1	5	14	21
	1976	1999	1979	1991	1983	1993	1986
Кирс	25	22	5	1	4	17	24
	1996	1999	1982	1997	1987	1973	2002
Шабалино	27	16	2	0	2	12	21
	1974	1999	1967		1984	1993	1978
Киров	23	16	2	0	0	10	23
	1996	1999	1967			1993	2002
Яранск	25	14	3	0	2	9	21
	1978	1999	1985		1969	1968	1980
Кильмезь	23	9	4	0	0	9	20
	1996	1999	1979			1977	1978
Глазов	26	15	5	0	2	12	21
	1996	1986	1979		1983	1973	2002
Ижевск	22	13	4	0	1	11	20
	1996	1986	1979		1986	1973	1980
Морки	24	10	2	0	1	9	20
	1978	1986	1978		1983	1968	1980
Чебоксары	20	9	1	0	0	8	16
	1988	2000	1967			1977	1978
Алатырь	21	8	1	0	0	7	19
	1978	1999	1967			1977	1977
Казань	22	6	0	0	0	4	12
	1978	2000				1996	1990
Елабуга	24	7	1	0	0	7	18
	1996	1969	1978			1976	1971
Чистополь	22	7	2	0	0	5	18
	1978	2000	1985			1993	1978

Окончание табл. 6.21

Станции	Апрель	Май	Июнь	Июль	Август	Сентябрь	Октябрь
Чулпаново	24	10	3	0	1	9	21
	1984	1999	1967		1996	1976	1975
Бугульма	23	11	3	0	1	9	21
	1978	1986	1979		1969	1976	1978
Ульяновск	24	10	1	0	1	7	19
	1978	1999	1978		1976	1976	1992
Канадей	23	8	1	0	0	6	19
	1981	1986	1967			1967	1988
Серноводск	23	7	2	0	0	7	20
	1984	1999	1967			1973	1973
Самара	17	4	1	0	0	3	16
	1978	1989	1967			1973	1973
Авангард	23	7	1	0	1	6	18
	1984	1986	1992		1976	1973	1996

Так, в мае максимальное число дней с заморозками может достигать 4–24 дней, в сентябре – 3–17 дней. В отдельные годы вторжения холодных воздушных масс вызывают заморозки в июне, июле (на севере Кировской области) и августе продолжительностью от 1 до 5 дней, что крайне неблагоприятно для всех сельскохозяйственных культур.

Наибольшая морозоопасность в летние месяцы отмечается в северных районах Кировской области и районах с изрезанным рельефом, характерным для Приволжской, Бугульминско-Белебеевской и Верхне-Камской возвышенностей. Отрицательные формы рельефа сравнительно небольших горизонтальных размеров с ослабленным проветриванием создают более благоприятные условия для возникновения заморозков

Определенную ценность для сельскохозяйственного производства имеют даты последнего заморозка весной, первого заморозка осенью и продолжительность безморозного периода (табл. 6.22).

Средняя дата последнего заморозка весной на севере приходится на 14–27 мая, в центре – 24 апреля – 17 мая, на юге – 22 апреля – 14 мая. Самые поздние весенние заморозки отмечались в северных

районах Кировской и Удмуртской областях (15–21 июня), на остальной территории заморозки полностью прекращаются в первой декаде июня (3–10 июня).

Таблица 6.22

Даты первого и последнего заморозка и продолжительность безморозного периода

Станции	Первый заморозок осенью		Последний заморозок весной		Средняя продолжительность безморозного периода (дни)
	средняя дата	самая ранняя	средняя дата	самая поздняя	
Лальск	5.09	7.07.91	27.05	21.06.83	102
Кирс	9.09	22.07.97	23.05	16.06.69	109
Шабалино	20.09	26.08.87	15.05	8.06.70	128
Киров	26.09	9.09.94	12.05	5.06.79	137
Яранск	15.09	14.08.69	15.05	8.06.85	123
Кильмезь	29.09	31.08.97	10.05	6.06.92	141
Глазов	15.09	19.08.78	20.05	16.06.69	119
Ижевск	20.09	26.08.86	9.05	6.06.92	144
Морки	23.09	28.08.83	12.05	10.06.82	133
Чебоксары	2.10	7.09.68	25.04	2.06.67	160
Алатырь	2.10	16.09.95	28.04	4.06.78	157
Казань	3.10	11.09.68	24.04	27.05.71	161
Елабуга	30.09	10.09.94	27.04	5.06.85	156
Чистополь	4.10	15.09.95	28.04	5.06.85	158
Чулпаново	18.09	15.08.69	12.05	4.06.03	129
Бугульма	23.09	15.08.69	14.05	5.06.92	132
Ульяновск	26.09	28.08.83	4.05	6.06.79	145
Канадей	23.09	3.09.94	10.05	4.06.78	136
Серноводск	27.09	3.09.94	6.05	3.06.67	144
Самара	6.10	17.09.95	23.04	3.06.67	166
Авангард	23.09	31.08.76	11.05	6.06.95	134

Осенью разброс в средних датах первого заморозка так же значителен – от 5 сентября на ст. Лальск в Кировской области до 9 октября на ст. Сосновый Солонец в Самарской области. Самые ранние осенние

заморозки наблюдались на севере изучаемой территории на станциях Лальск (7 июля 1991 г.) и Кирс (22 июля 1997 г.), на юге первые заморозки осенью отмечались во второй декаде сентября (ст. Самара, 17 сентября 1995 г.).

Таким образом, наименьшая средняя продолжительность безморозного периода отмечается в Кировской области — ст. Лальск (102 дня), Опарино (107 дней) и Кирс (109 дней), наибольшая продолжительность безморозного периода наблюдается на территории Чувашии и Татарстана (160–163 дней) и Самарской области (166–170 дней).

Оттепели

Под оттепелью понимается повышение температуры воздуха по максимальному термометру до 0°C и выше в холодный период на фоне установившихся отрицательных температур.

В районах возделывания озимых зерновых культур холодный период года является опасным для жизни растений. Зимой растения, находясь в состоянии вынужденного покоя, непрерывно подвергаются воздействию метеорологических факторов, которые не только прямо влияют на перезимовку растений, но и определяют динамику их устойчивости к неблагоприятным условиям.

Особенно сильно снижают морозостойкость озимых интенсивные и длительные оттепели, при которых у растений нарушается состояние зимнего покоя. Резкие понижения температуры почвы после оттепелей вызывают гибель растений при значительно более высоком уровне минимальной температуры почвы, чем при постепенном похолодании. В отрицательных формах рельефа при интенсивных оттепелях может скапливаться вода, которая, замерзая при последующем понижении температуры, образует ледяную корку. Растения при длительном пребывании под притертой к почве ледяной коркой, покрывающей всю их надземную массу, повреждаются, а иногда полностью погибают.

Зимой на территории Среднего Поволжья проявляется влияние Атлантического океана и Средиземноморского бассейна: частые вхождения циклонических барических образований с запада и юго-запада смягчают зиму, делают ее более снежной, с оттепелями и сильными ветрами.

В целом за холодный период среднее многолетнее число дней с оттепелью в Среднем Поволжье составляет 23–38 дней (табл. 6.23).

Таблица 6.23

Среднее многолетнее число дней с оттепелью

Станции	Ноябрь	Декабрь	Январь	Февраль	Март	Всего
Лальск	7	4	2	3	14	30
Кирс	8	3	2	2	14	29
Шабалино	8	3	3	3	12	29
Киров	9	3	2	3	12	29
Яранск	10	5	3	4	13	35
Кильмезь	7	3	2	2	14	28
Глазов	8	3	2	2	12	27
Ижевск	9	3	2	2	12	28
Морки	10	4	3	3	14	34
Чебоксары	10	4	3	3	11	31
Алатырь	10	5	3	4	10	32
Казань	10	4	3	4	11	32
Елабуга	9	3	3	3	13	31
Чистополь	7	2	2	2	10	23
Чулпаново	10	5	3	4	11	33
Бугульма	9	2	1	1	9	22
Ульяновск	10	5	3	4	11	33
Канадей	10	7	5	4	10	36
Серноводск	10	4	3	3	11	31
Самара	9	4	3	4	11	31
Авангард	11	5	3	4	10	33

Наибольшее число оттепелей отмечается в периоды слабых отрицательных температур — в ноябре (7–11 дней) и в марте (9–14 дней). В зимние месяцы, когда наблюдаются наиболее низкие температуры воздуха, оттепели сравнительно редки — в декабре число дней с оттепелью в среднем составляет 2–7 дней, в январе и феврале 1–5 дней.

Наиболее сильные и частые оттепели на исследуемой территории связаны с меридиональными процессами циркуляции — с выходом

интенсивных циклонов со Средиземного и Черного морей. Потому в территориальном распределении отмечается хорошо выраженное меридиональное изменение повторяемости оттепелей: с запада на восток число дней с оттепелью, в целом, уменьшается. Повышенной повторяемостью оттепелей выделяются юго-западные районы Кировской области, Чувашия, Ульяновская область и юго-запад Самарской области, где за холодный период наблюдаются от 31 до 38 дней с оттепелями. В восточной части Среднего Поволжья повторяемость оттепелей составляет 22–33 дня; минимальная повторяемость оттепелей отмечается на станциях Бугульма (22 дня) и Чистополь (23 дня).

В отдельные годы число дней с оттепелью существенно отличается от средних значений (табл. 6.24). Так в ноябре и марте наибольшая повторяемость оттепелей составляет 20–28 дней, в декабре 7–19 дней, в январе 6–12 дней, в феврале 8–24 дней.

Таблица 6.24

Максимальное число дней с оттепелью

Станции	Ноябрь	Декабрь	Январь	Февраль	Март
Лальск	23	15	10	18	24
	1982	1982	1971	1990	1989
Кирс	23	13	6	16	24
	1996	1971	1981	2002	1989
Шабалино	22	12	8	19	25
	1982	1982	1971	2002	2002
Киров	21	13	7	20	23
	1982	1982	1971	2002	1989
Яранск	26	14	11	20	25
	1971	1972	2002	2002	2002
Кильмезь	20	13	8	21	25
	1977	1982	2001	2002	2002
Глазов	23	11	7	17	21
	1971	1982	2002	2002	1989
Ижевск	25	10	6	17	22
	1996	1980	1983	2002	1977

Станции	Ноябрь	Декабрь	Январь	Февраль	Март
Морки	25	14	10	21	27
	1971	1980	2001	2002	2002
Чебоксары	24	14	10	22	26
	1971	1980	2001	2002	2002
Алатырь	22	17	10	22	25
	1977	1980	1971	2002	2002
Казань	25	15	12	24	27
	1971	1980	2001	2002	2002
Елабуга	20	13	11	22	25
	1977	1999	2001	2002	2002
Чистополь	18	13	6	15	24
	1982	1980	1983	2002	2002
Чулпаново	23	16	13	21	28
	1982	1999	2001	2002	2002
Бугульма	20	7	6	8	24
	1971	1979	1999	2002	2002
Ульяновск	25	19	13	24	21
	1982	1980	2002	2002	2000
Канадей	21	18	13	13	25
	1979	1980	1983	1989	2001
Серноводск	22	14	10	18	22
	1979	1980	2001	2002	1989
Самара	23	14	12	21	22
	2003	1980	2001	2002	1989
Авангард	23	17	12	21	22
	1979	1999	2002	2002	1989

Интересно отметить, что в январе, феврале и марте максимальное число дней с оттепелью в большинстве случаев было зарегистрировано в 2001–2002 гг., а в остальные месяцы максимумы повторяемости оттепелей были зафиксированы в более ранние годы. По-видимому, это является следствием того, что наблюдающееся потепление климата Среднего Поволжья наиболее интенсивно происходит в январе – марте, и поэтому именно в эти месяцы увеличилась повторяемость оттепелей в последнее десятилетие.

7. Влажность воздуха

Влажность воздуха наряду с температурой, атмосферным давлением является одной из важнейших характеристик его состояния. Содержание водяного пара в атмосфере оценивается с помощью набора различных характеристик (Научно-прикладной справочник, 1988). Наиболее часто используемыми среди них являются парциальное давление (упругость) водяного пара e , относительная влажность воздуха f , дефицит (недостаток) насыщения d , температура точки росы t .

Концентрация водяного пара в воздухе находится в сложной зависимости от его температуры, состояния подстилающей поверхности, физико-географических условий местности (в том числе от высоты рельефа), времени суток и года, условий циркуляции атмосферы, интенсивности турбулентного перемешивания и др. факторов. Территория Среднего Поволжья находится в зоне умеренно-континентального климата с ярко выраженными суточными и годовыми колебаниями температуры приземного слоя воздуха и подстилающей поверхности. Она богата значительным разнообразием свойств испаряющих поверхностей, форм и высот рельефа, что влечет за собою значительную изменчивость режима увлажнения воздуха во времени и в пределах региона.

В настоящем разделе ограничимся рассмотрением поведения в основном лишь двух показателей влажности: парциального давления водяного пара (которое ради краткости в дальнейшем будем называть давлением водяного пара или давлением пара (Матвеев, 1984)) и относительной влажности воздуха.

При этом имеется в виду, что все характеристики влажности взаимосвязаны между собою и по величине одной из них можно оценить и другую. Например, дефицит влажности и относительная влажность находятся в прямой (отрицательной) зависимости друг от друга:

$$d = (1 - f) E = E - e, \quad (7.1)$$

где $0 \leq f \leq 1,0$, а температура точки росы является косвенной характеристикой давления пара, почти полностью определяя его. При этом увеличение t влечет за собою рост давления пара, и наоборот.

В формуле (7.1) E — давление насыщения, являющееся степенной функцией (положительная зависимость) температуры воздуха (Тверской, 1962; Матвеев, 1984).

7.1. Давление водяного пара

Давление водяного пара измеряется в гектопаскалях (гПа). Его изменения в приземном слое обычно следуют за изменениями температуры воздуха (Климат России, 2001), что вполне объяснимо. С повышением (понижением) температуры воздуха возрастает (уменьшается) скорость испарения (Тверской, 1962; Матвеев, 1984), как одного из основных источников поступления влаги в атмосферу.

На изменения давления водяного пара существенное влияние могут оказывать и процессы горизонтального переноса (адвекции) влаги в системе циркуляции атмосферы. Однако, при изучении режима влажности при его осреднении за большие промежутки времени роль указанного фактора существенно нивелируется и все более возрастает значимость испарения.

Роль испарения в изменениях давления пара еще более возрастает в пониженных и вогнутых формах рельефа, где интенсивность воздухообмена (горизонтальной адвекции), как правило, ослабевает. Напротив, на приподнятых и, в особенности, выпуклых формах рельефа роль испарения уменьшается и возрастает значимость адвекции водяного пара.

Как следует из вышеизложенного (гл. 3), территория Среднего Поволжья по характеру ее рельефа весьма неоднородна. Наиболее низко расположенные ее части с отметками высот $H < 50$ –100 м. абс. связаны с долинами рек Волги, Камы, Вятки и Заволжской низменностью.

Возвышенные же части территории расположены в основном на ее окраинах. К ним относятся Северные ($H = 160$ –230 м. абс.) и Вят-

ские ($H = 175\text{--}284$ м. абс.) Увалы — на севере и другие возвышенности: Верхнекамская ($H = 232\text{--}330$ м. абс.) — на северо-востоке, Бугульминско-Белебеевская ($H = 230\text{--}380$ м. абс.) — на востоке и юго-востоке, Общий Сырт ($H = 203\text{--}250$ м. абс.) — на юго-востоке, Приволжская ($H = 227\text{--}370$ м. абс.) на юго-западе.

Как видно, перепады высот рельефа в пределах территории могут достигать 300 м и более, что неизбежно влечет за собою адекватные изменения давления водяного пара. Согласно данным П.Н. Тверского (1962) давление водяного пара (e) в нижней тропосфере (до высот $z = 3\text{--}4$ км) уменьшается с высотой в средних выводах по степенному закону:

$$e(z) = e_0 10^{-\frac{z}{\beta}} \quad (7.2)$$

Здесь $e(z)$ и e_0 — значения давления водяного пара на высоте z и у поверхности земли ($z=0$), $\beta \approx 5000$ м.

Если, например, положить $e_0 = 15,0$ гПа, то, согласно выражению (7.2), на высоте $z = 100$ м давление пара составит уже 14,3 гПа, а на высотах $z = 200$ и 300 м — 13,7 и 13,1 гПа (соответственно). Как видно, изменения высот орографии в летний период может сопровождаться адекватными изменениями давления водяного пара $|\Delta e = e_0 - e(z)|$ в пределах территории, которые могут достигать 1,3–1,9 гПа.

Низко расположенные части территории (Верхневятская и Чепецкая, Марийская низменности, междуречье рек Вятки и Пижмы, нижнее правобережье р. Кильмезь) частично заболочены и вместе с речными водоемами представляют собою источники дополнительного увлажнения (в теплое время года) атмосферы (Верещагин, 1963).

Значительная протяженность территории с севера на юг предопределяет хорошо выраженную зональность ее природных условий и ландшафтов. Если северная часть территории (север и северо-восток Кировской области) представляют собою зону, близкую к таежной, то южнее русла р. Камы (в нижнем ее течении) она переходит в лесостепь, и на крайнем юго-востоке (юго-восточная часть Самарской области — в степь. Столь значительные различия в физическом состоянии испаряющих поверхностей и перепады высот рельефа неизбежно влекут за собою заметные пространственные изменения в значениях давления

пара (Климатология, 1989; Климат России, 2001) по рассматриваемой территории.

Годовой ход средних месячных значений давления водяного пара находится в тесном согласии с годовым ходом температуры воздуха. Годовой максимум давления пара (в средних выводах) повсеместно отмечается в июле, а годового минимума — в январе (табл. 7.1).

При этом средние значения давления пара в пределах изучаемой территории варьируют в июле от 14,3 (ст. Лальск) до 16,0 гПа (ст. Чистополь). Первая из указанных станций находится на крайнем северо-западе территории (высота этой станции $H = 85$ м. абс.), вторая — на левом берегу Камы ($H = 105$ м. абс.).

Более высокое давление водяного пара на ст. Чистополь объясняется, очевидно, увлажняющим влиянием более интенсивного испарения с близлежащей водной поверхности (Верещагин, 1963).

В январе изменения давления пара по изучаемой территории незначительны (от 2,1 гПа на крайнем северо-востоке Кировской области (ст. Кирс) до 2,6–2,8 гПа в Республике Чувашия (ст. Чебоксары, Алатырь) и в Ульяновске).

Отклонения текущих средних месячных значений давления пара от многолетних норм в отдельные годы могут быть значительными, особенно летом. Например, на ст. Киров, АМСГ средняя месячная величина давления пара в июле 1987 г. составила 17,4 гПа, что превысило средний многолетний показатель для этого же месяца (14,7 гПа) на 2,7 гПа. Напротив, в июле 1981 г. аналогичный средний месячный показатель (11,8 гПа) оказался ниже средней многолетней нормы на 2,9 гПа.

Заметные нарушения в годовом ходе давления водяного пара могут иметь место и по времени проявлений его годового минимума и максимума (табл. 7.2).

Как видно, летний максимум давления пара по времени своего проявления наиболее устойчив: вероятность его обнаружения в июле колеблется в пределах 82–93%. При этом указанная устойчивость закономерно возрастает с севера на юг. Годовой минимум водяного пара по тому же признаку менее устойчив: от 16 до 44% случаев его можно наблюдать в декабре и феврале (соответственно), хотя чаще всего (от 42 до 54% случаев) он фиксируется все же в январе.

Станции	Месяцы												Год	Ампл.
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII		
Лальск	2,2	2,4	3,5	5,1	7,4	11,4	14,3	12,6	9,3	6,2	3,9	2,7	7,3	12,1
Кирс	2,1	2,2	3,4	5,1	7,5	11,6	14,5	12,6	9,2	6,0	3,7	2,5	7,1	12,4
Шабалино	2,4	2,5	3,6	5,6	8,1	12,3	14,9	13,1	9,5	6,3	4,1	2,8	7,7	12,5
Киров, АМСГ	2,3	2,4	3,6	5,5	7,8	12,0	14,7	12,9	9,6	6,2	4,0	2,7	7,5	12,4
Яранск	2,4	2,5	3,6	6,0	8,6	12,7	15,1	13,1	9,8	6,6	4,3	2,9	8,5	12,7
Кильмезь	2,5	2,5	3,6	5,6	8,2	12,8	15,2	13,2	9,8	6,5	4,0	2,8	7,8	12,7
Глазов	2,1	2,2	3,4	5,6	8,0	12,3	15,0	12,8	9,5	6,2	3,8	2,5	7,4	12,9
Ижевск	2,2	2,3	3,4	5,8	8,2	12,4	15,0	13,0	9,5	6,2	4,0	2,6	7,7	12,8
Морки	2,4	2,5	3,6	6,0	8,5	12,6	15,2	13,2	9,8	6,6	4,2	2,9	8,4	12,8
Чебоксары	2,6	2,6	3,6	6,1	8,6	12,7	15,1	13,2	9,9	6,7	4,3	3,0	8,0	12,5
Алатырь	2,6	2,7	3,8	6,5	9,0	13,0	15,3	13,5	10,1	6,9	4,5	3,1	8,3	12,7
Казань	2,5	2,5	3,7	6,3	8,7	13,1	15,6	13,5	10,0	6,7	4,4	2,9	8,2	13,1
Елабуга	2,3	2,4	3,8	6,2	8,7	13,1	15,7	13,6	9,9	6,5	4,2	2,7	8,1	13,4
Чистополь	2,6	2,6	3,6	6,2	8,8	13,7	16,0	13,8	10,1	6,9	4,1	2,9	8,2	13,4
Чуланово	2,4	2,4	3,6	6,6	8,9	13,6	15,9	13,6	9,8	6,7	4,4	2,9	8,5	13,5
Бугульма	2,3	2,4	3,4	5,8	7,8	12,2	14,6	12,6	9,1	6,2	4,0	2,7	7,6	12,3
Ульяновск	2,8	2,7	3,8	6,3	8,7	13,5	15,6	13,6	10,1	6,8	4,4	3,1	8,4	12,9
Кандей	2,6	2,6	3,8	6,4	8,8	13,0	15,0	13,2	9,7	6,7	4,6	3,1	8,4	12,4
Серноводск	2,4	2,4	3,6	6,3	8,3	13,0	15,1	13,0	9,4	6,5	4,3	2,8	8,0	12,7
Самара	2,5	2,6	3,8	6,3	8,5	13,0	15,3	13,4	9,8	6,8	4,6	3,1	8,3	12,8
Авангард	2,4	2,4	3,7	6,5	8,4	12,8	14,7	12,5	9,2	6,6	4,5	2,9	8,0	12,3
Среднее	2,4	2,5	3,6	6,0	8,4	12,7	15,1	13,1	9,7	6,5	4,2	2,8	8,0	12,7
Максимум	2,8	2,7	3,8	6,6	9,0	13,7	16,0	13,8	10,1	6,9	4,6	3,1	8,5	13,5
Минимум	2,1	2,2	3,4	5,1	7,4	11,4	14,3	12,5	9,1	6,0	3,7	2,5	7,1	12,1
Разность	0,7	0,5	0,4	1,5	1,6	2,3	1,7	1,3	1,0	0,9	0,9	0,6	1,4	1,4

Повторяемость (%) обнаружений годовых максимумов и минимумов давления водяного пара в различные месяцы года

Станции	Время (мес.) обнар. год. максимума			Время (мес.) обнар. год. минимума				
	VI	VII	VIII	XI	XII	I	II	III
Опарино	5,27	81,58	13,51	0	16,21	54,05	29,72	0
Киров, АМСГ	7,69	82,06	10,25	0	17,50	50,00	32,50	0
Уржум	7,89	86,85	5,26	0	24,32	48,65	27,02	0
Ижевск	5,26	86,84	7,89	0	18,42	47,36	34,21	0
Чебоксары	9,09	84,84	6,06	2,77	19,44	41,66	36,11	0
Морки	10,52	84,21	5,26	0	20,51	53,84	25,64	0
Казань,оп	5,40	89,20	5,40	0	13,50	48,60	37,80	0
Ульяновск	12,50	75,00	12,50	6,70	26,70	56,60	10,00	0
Самара	6,45	93,54	0	0	3,12	50,00	43,75	3,12

Средняя по изучаемой территории амплитуда годовых колебаний давления пара ($A(e)$) составляет 12,7 гПа. Годовой ход давления пара наиболее резко выражен в низкорасположенных частях территории: – в долинах Волги, Камы, Закамье и низменном Заволжье, где $A(e) \geq 13,5–13,6$ гПа. На возвышенностях (Вятском Увале, Верхнекамской, Бугульминско-Белебеевской, Общем Сырте, Приволжской) годовые амплитуды ($A(e) \leq 12,3–12,5$ гПа).

Коэффициент линейной корреляции $r(A(e), H)$ по территории составляет – 0,327, что не на много меньше величины наибольшего случайного коэффициента корреляции $r_{0,05} = 0,45$ (Шторм, 1970) при уровне значимости $\alpha = 0,05$. Однако при этом можно не сомневаться в том, что отрицательная зависимость годовых амплитуд $A(e)$ от высоты рельефа в действительности много теснее, если учесть, что все наиболее высокорасположенные станции, находятся, закономерно, не на гребнях возвышенностей, а всего лишь на их склонах (несколько ниже), что неизбежно приводит к некоторому искажению (ослаблению) зависимости $A(e)$ от H .

Суточный ход давления водяного пара на территории Среднего Поволжья проявляется по-разному в зависимости от времени года. В наиболее простой форме (с одним суточным максимумом (около 12 ч

(редко в 15 ч) и одним минимумом (около 0–3 ч по местному времени) наблюдается с декабря по март (на 50% территории) – апрель. Суточный ход давления водяного пара в это время года близко следует за суточным ходом температуры воздуха. Такому типу суточного хода давления пара обычно сопутствует ослабленный турбулентный обмен.

Таблица 7.3 а

**Средние месячные величины давления водяного пара (гПа)
по срокам наблюдений (ч. по местному времени) в январе**

Станции	Сроки								Амплитуда
	0	3	6	9	12	15	18	21	
Лальск	2,2	2,2	2,2	2,3	2,3	2,2	2,2	2,2	0,1
Кирс	2,1	2,1	2,1	2,2	2,2	2,1	2,1	2,1	0,1
Шабалино	2,3	2,3	2,3	2,4	2,5	2,4	2,4	2,3	0,2
Киров, АМСГ	2,3	2,3	2,3	2,3	2,4	2,3	2,3	2,3	0,1
Яранск	2,4	2,4	2,4	2,5	2,5	2,4	2,4	2,4	0,1
Кильмезь	2,4	2,4	2,4	2,5	2,6	2,5	2,5	2,5	0,2
Глазов	2,1	2,1	2,1	2,2	2,2	2,2	2,1	2,1	0,1
Ижевск	2,2	2,2	2,2	2,3	2,3	2,2	2,2	2,2	0,1
Морки	2,4	2,4	2,4	2,5	2,5	2,4	2,4	2,4	0,1
Чебоксары	2,6	2,6	2,5	2,6	2,6	2,6	2,6	2,6	0,1
Алатырь	2,6	2,6	2,6	2,7	2,7	2,6	2,6	2,6	0,1
Казань	2,5	2,5	2,5	2,6	2,6	2,5	2,5	2,5	0,1
Елабуга	2,3	2,3	2,3	2,4	2,4	2,3	2,3	2,3	0,1
Чистополь	2,6	2,6	2,6	2,7	2,7	2,6	2,6	2,6	0,1
Чулпаново	2,4	2,4	2,4	2,5	2,5	2,4	2,4	2,4	0,1
Бугульма	2,2	2,2	2,2	2,3	2,3	2,3	2,2	2,2	0,1
Ульяновск	2,7	2,7	2,7	2,9	2,9	2,8	2,8	2,7	0,2
Канадей	2,5	2,5	2,5	2,7	2,7	2,6	2,6	2,5	0,2
Серноводск	2,3	2,3	2,3	2,4	2,5	2,4	2,4	2,3	0,2
Самара	2,5	2,5	2,5	2,6	2,6	2,6	2,6	2,5	0,1
Авангард	2,4	2,3	2,3	2,5	2,5	2,4	2,4	2,4	0,2
Среднее	2,4	2,4	2,4	2,5	2,5	2,4	2,4	2,4	0,1
Максимум	2,7	2,7	2,7	2,9	2,9	2,8	2,8	2,7	0,2
Минимум	2,1	2,1	2,1	2,2	2,2	2,1	2,1	2,1	0,1
Разность	0,6	0,6	0,6	0,7	0,7	0,7	0,7	0,6	0,1

В зимнее время (январь) суточные изменения давления пара весьма незначительны: $a(e) = 0,1–0,2$ гПа (табл. 7.3 а), а теснота их зависимости от изменений высот рельефа слабая: $r[a(e), H] = -0,100$, что не случайно. Теснота связей между рассматриваемыми признаками зависит от степени вклада в формирование суточного хода давления пара процессов испарения (Тверской, 1962; Матвеев, 1984). В зимнее время интенсивность испарения достигает своего минимума, а сами величины испарения (с однородной снежной поверхности) при этом почти полностью нивелируются в пределах территории, что и приводит в конечном итоге к почти полной потере зависимости амплитуд $a(e)$ от высот рельефа H .

С апреля (мая) по октябрь суточный ход давления водяного пара имеет вид двойной волны (табл. 7.3.б) и характеризуется двумя максимумами (около 6 час. (второстепенный) и 18 час. (основной)) и двумя минимумами (около 0–3 час. (наиболее глубокий) и 12–15 час. (менее глубокий)), когда термическая конвекция и турбулентность наиболее развиты (Тверской, 1962; Матвеев, 1984).

Средние значения дневных (основных) максимумов давления пара варьируются в пределах территории в июле от 14,9 гПа (наиболее высокорасположенная ст. Бугульма) до 16,7 гПа (ст. Чулпаново, находящаяся на 255 м ниже вышеуказанной).

Амплитуды суточных колебаний давления пара $a(e)$ в разгар лета (июль) изменяются по территории от 0,8–0,9 (ст. Киров, $H = 143$ м. абс.; Чебоксары, $H = 162$ м. абс.) до 2,0–2,3 гПа (ст. Алатырь (на юге Чувашии), $H = 107$ м. абс.; Лальск, $H = 85$ м. абс. и Шабалино, $H = 166$ м. абс. (на крайнем северо-западе и западе Кировской обл.)), что указывает на некоторую их отрицательную зависимость от высот рельефа. В целом же для всей территории в июле коэффициент корреляции $r[a(e), H] = -0,312$, который свидетельствует о наличии тенденции некоторого затухания суточного хода давления водяного пара с ростом высот рельефа (на возвышенностях), и наоборот.

Географические особенности распределения давления водяного пара по территории в летний период определяются в основном контрастностью свойств испаряющих поверхностей и рельефа, а в зимний период – условиями циркуляции атмосферы (Климатология, 1989).

Таблица 7.3.6

Средние месячные величины давления водяного пара (гПа)
по срокам наблюдений (ч. по местному времени) в июле

Станции	Сроки								Ампли- туда
	0	3	6	9	12	15	18	21	
Лальск	13,2	14,1	14,7	14,0	14,0	14,4	15,5	14,3	2,3
Кирс	13,6	14,4	14,8	14,2	14,1	14,6	15,7	14,5	2,1
Шабалино	14,1	14,7	15,3	14,8	14,8	15,1	15,5	14,8	1,4
Киров, АМСГ	14,4	14,7	15,0	14,5	14,3	14,6	15,1	14,8	0,8
Яранск	14,4	15,1	15,7	14,8	14,7	15,1	16,0	15,2	1,6
Кильмезь	14,7	15,3	15,7	15,0	14,9	15,3	15,7	15,2	1,0
Глазов	13,9	14,8	15,6	14,9	14,8	15,4	15,6	14,7	1,7
Ижевск	14,3	15,2	15,5	14,9	14,7	15,2	15,4	14,8	1,2
Морки	14,6	15,0	15,8	15,0	14,8	15,0	15,9	15,4	1,3
Чебоксары	14,7	15,4	15,6	15,0	14,8	15,0	15,3	15,0	0,9
Алатырь	14,3	15,1	16,3	15,7	15,3	15,6	15,5	14,8	2,0
Казань	15,3	15,8	16,1	15,3	15,1	15,5	16,0	15,6	1,0
Елабуга	15,1	15,9	16,3	15,5	15,4	15,7	16,2	15,6	1,2
Чистополь	15,2	16,0	16,7	16,2	16,1	16,4	16,1	15,6	1,5
Чулпаново	14,9	16,0	16,7	15,5	15,3	16,0	16,7	15,8	1,8
Бугульма	14,0	14,9	15,1	14,5	14,4	14,9	14,9	14,3	1,1
Ульяновск	15,0	15,5	16,4	15,5	15,3	15,6	16,3	15,6	1,4
Канадей	14,8	15,1	15,8	14,5	14,2	14,6	15,4	15,4	1,6
Серноводск	14,6	15,2	16,1	14,9	14,6	15,1	15,2	15,0	1,5
Самара	15,1	15,5	16,0	15,2	14,9	15,3	15,5	15,2	1,1
Авангард	14,4	15,2	15,2	14,0	13,8	14,3	15,4	14,9	1,6
Среднее	14,5	15,2	15,7	14,9	14,8	15,2	15,7	15,1	1,4
Максимум	15,3	16,0	16,7	16,2	16,1	16,4	16,7	15,8	2,3
Минимум	13,2	14,1	14,7	14,0	13,8	14,3	14,9	14,3	0,8
Разность	2,1	1,9	2,0	2,2	2,3	2,1	1,8	1,5	1,5

Обратим вначале внимание на влияние высот орографии на распределение по территории давления водяного пара (табл. 7.4).

Таблица 7.4

Высоты (H , м.абс) метеорологических станций и средние многолетние значения
давления водяного пара (e , гПа) в январе [$e(I)$] и июле [$e(VII)$]

Станции	H	$e(I)$	$e(VII)$	Станции	H	$e(I)$	$e(VII)$
Бугульма	333	2,3	14,6	Казань, ЦГМС	120	2,5	15,6
Ульяновск	170	2,8	15,6	Кильмезь	116	2,5	15,2
Кирс	168	2,1	14,5	Канадей	108	2,6	15,0
Шабалино	166	2,4	14,9	Чистополь	106	2,6	16,0
Чебоксары	162	2,6	15,1	Яранск	103	2,4	15,1
Ижевск	155	2,2	15,0	Елабуга	90	2,3	15,7
Киров	143	2,3	14,7	Лальск	85	2,2	14,3
Самара	136	2,5	15,3	Чулпаново	78	2,4	15,9

В этой таблице метеорологические станции записаны в порядке уменьшения высот их местоположений. Видно, что с ростом высот H величины давления пара имеют устойчивую тенденцию к их уменьшению, и наоборот. Это положение в наибольшей мере справедливо для летних (июль) условий и подкрепляется величиной коэффициента корреляции $r(e(VII), H) = -0,402$, который по своей абсолютной величине лишь не намного меньше порогового значения наибольшего случайного его значения $r_{0,05} = 0,48$ при уровне значимости $\alpha = 0,05$ (Шторм, 1970). Как видно, надежность выявленной отрицательной зависимости давления пара [$e(VII)$] от высот орографии лишь немногим меньше 95%.

Отрицательная зависимость давления пара $e(I)$ от H обнаруживается и в январе, однако, теснота ее очень мала: $r(e(I), H) = -0,100$. Это обстоятельство косвенно указывает на то, что зимой в распределении давления пара $e(I)$ по территории влияние высот орографии практически не проявляется и решающее значение в распределении $e(I)$ по пространству изучаемой территории приобретают уже циркуляционные (адвекция влаги в системе воздушных течений) и термические факторы.

Действие термического фактора сводится к известному положению о том, что давление пара «следует за температурой воздуха» (Тверской П.Н., 1962).

С учетом сказанного становятся понятными важнейшие черты географического распределения парциального давления водяного пара $e(I)$, $e(VII)$ по территории Среднего Поволжья.

Конфигурация изолиний $e(I) = const$ (рис. 7.1) близка к конфигурации январских изотерм, что свидетельствует о том, что географическое распределение $e(I)$ связано уже не столько с влиянием местного испарения, сколько с процессами переноса водяного пара через территорию воздушными течениями. При преобладающих зимой юго-западных воздушных потоках (Климатология, 1989; Климат России, 2001) количество переносимой влаги постепенно уменьшается в направлении их следования. В итоге в январе наибольшие значения $e(I)$ ($\geq 2,6$ – $2,8$ гПа) наблюдаются на западных склонах Приволжской возвышенности, откуда они уменьшаются в северо-восточном направлении и достигают наименьших значений ($\leq 2,1$ гПа) на западных склонах Верхнекамской возвышенности.

Распределение по территории давления пара $e(VII)$ в июле (рис. 7.1) имеет пятнистый характер. «Очаги сухости», как видно, обнаруживаются на склонах Верхнекамской ($e(VII) \leq 14,4$ гПа), Бугульминско-Белебеевской, Общего Сырта ($e(VII) \leq 15,2$ гПа) и Приволжской ($e(VII) \leq 15,0$ – $15,2$ гПа) возвышенностей, а главные «очаги влажности» ($e(VII) \geq 16,0$ гПа) «привязаны» к долинам Волги, Камы и низменным Заволжью и Западному Закамыю.

В распределениях давления водяного пара по территории Среднего Поволжья легко просматривается также влияние географических координат – широты (ϕ) и долготы места (λ), о чем свидетельствуют значения коэффициентов корреляции: $r(e(I), \phi) = -0,613$, $r(e(I), \lambda) = -0,416$; $r(e(VII), \phi) = -0,699$, $r(e(VII), \lambda) = 0,049$. При этом пороговые значения случайных коэффициентов корреляции составляют $r_{0,05} = 0,53$, $r_{0,01} = 0,66$. Как видно, наиболее достоверно выявляемой является тенденция постепенного уменьшения величины $e(I)$ и $e(II)$ с юга на север, что и должно следовать из прямой, положительной зависимости их от температуры воздуха.

В зимнее время в географическом распределении $e(I)$ значительная роль принадлежит географической долготе. Неравенство $r(e(I), \lambda) < 0$ показывает, что при виртуальном перемещении через рассматриваемую территорию с запада на восток парциальное давление водяного пара уменьшается, и наоборот.

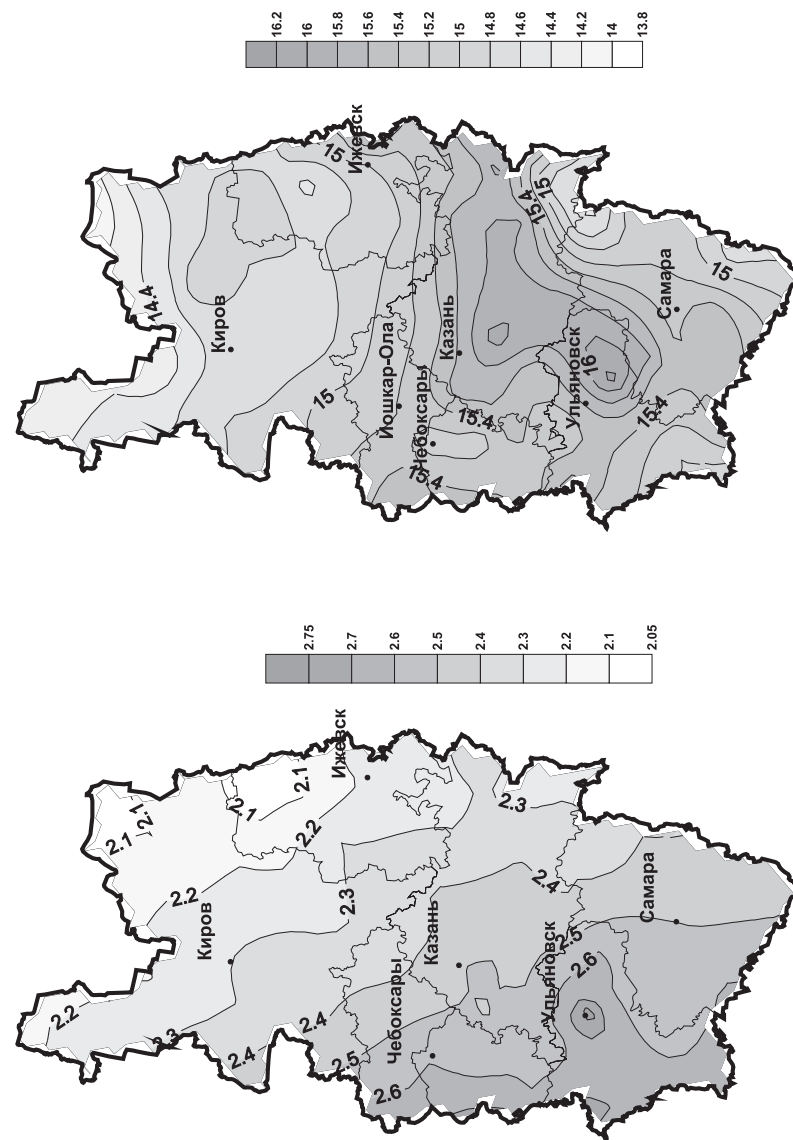


Рис. 7.1. Средние месячные значения парциального давления водяного пара (гПа) в январе (слева) и в июле (справа)

Интегральными показателями совокупного влияния изменчивости координат пространства (ϕ , λ) и высот (H) рельефа на географические особенности распределения давления пара $e(I)$, $e(VII)$ могут служить множественные коэффициенты корреляции (МКК) $R_{e(I) \cdot \phi, \lambda, H} = R(I) = 0,782$ и $R_{e(VII) \cdot \phi, \lambda, H} = R(VII) = 0,804$.

Пороговое значение наибольшего случайного МКК R_α при числе учитываемых станций $N = 21$ и уровне значимости $\alpha = 0,01$ составляет $R_{0,07} = 0,621$ (Шторм, 1970). Таким образом, определяющее значение комплекса факториальных признаков (ϕ , λ , H) на формирование полей $e(I)$ и $e(VII)$ (рис. 7.1) постулируется с весьма высокой надежностью $P > 99\%$.

Таким образом, если в июле комплекс признаков ϕ , λ , H описывает свыше 64% полного разнообразия географического распределения $e(VII)$, то в январе – несколько меньше ($\sim 61\%$). Отсюда также следует, что на долю всех других (помимо ϕ , λ , H) факторов (циркуляция атмосферы и др.) приходится от 34 (в июле) до 39% (в январе) полной пространственной изменчивости $e(I)$, $e(VII)$.

7.2. Относительная влажность воздуха

Относительная влажность воздуха представляет собою процентное отношение фактического значения давления пара к давлению насыщения $E(t)$ при данной температуре воздуха t :

$$f = \frac{e}{E} 100\% \quad (7.3)$$

и характеризует, таким образом, степень насыщения воздуха водяным паром.

Практическое значение рассматриваемого показателя влажности состоит в том, что он косвенно характеризует скорость потери влаги W испаряющей поверхностью. Последнюю с некоторым приближением можно записать в виде:

$$W \approx \frac{AE}{100} [100 - f] \cdot F(u), \quad (7.4)$$

где A – некоторый множитель ($A > 0$), $F(u)$ – «ветровая функция» ($F(u) \geq 0$), зависящая от скорости ветра u .

Из формулы 7.4 следует, что (при прочих неизменных условиях) потери влаги испаряющей поверхностью возрастают с понижением относительной влажности, и наоборот.

Из наличия прямой положительной связи между e и f следует, что изменения относительной влажности во времени и в пространстве определяются действием той же совокупности факторов, о которых речь уже шла ранее. Вместе с тем пространственно-временное распределение относительной влажности отличается от распределения давления водяного пара (e) хотя бы уже потому, что относительная влажность воздуха зависит еще и от распределения температуры воздуха.

Годовой ход средних месячных величин относительной влажности почти противоположен годовому ходу температуры воздуха (Тверской, 1962; Матвеев, 1984). На территории Среднего Поволжья годовой максимум относительной влажности (в средних выводах) наблюдается в ноябре, а годовой минимум – в мае (табл. 7.5). Наиболее устойчивым по времени проявления является годовой минимум, а наименее устойчивым – годовой максимум.

Заметные нарушения в годовом ходе относительной влажности могут иметь место и по времени проявления ее годовых минимума и максимума (табл. 7.6). Как видно, наиболее устойчивым по времени своего проявления является весенний минимум: вероятность его обнаружения в мае колеблется в пределах от 65,57% (ст. Опарино, Кировская обл.) до 91,66% (ст. Морки, Марий Эл). Временная устойчивость этого признака существенно возрастает с севера территории на юг.

Годовой максимум относительной влажности по тому же признаку менее устойчив: его можно наблюдать в широком интервале времени (чаще всего с октября по февраль), однако, наиболее часто (в 40–67% случаев) его можно наблюдать в ноябре.

Амплитуда внутригодовых колебаний относительной влажности по территории Среднего Поволжья колеблется в диапазоне от 22 % (ст. Кирс, Лальск, Кильмезь (Кировская обл.) до 34% (ст. Самара). Между годовыми амплитудами относительной влажности $A(f)$ и высотами рельефа H прослеживается слабая (статистически незначимая) связь: $r(A(f), H) = 0,215$, выражающая в некотором увеличении $A(f)$ с ростом высот рельефа.

Средние месячные и годовые значения относительной влажности воздуха, %

Станции	Месяцы												Амплитуда
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	
Лальск	83	81	76	69	65	68	74	79	84	86	87	85	80
Кирс	83	80	76	69	65	69	75	80	83	85	87	84	77
Шабалино	84	81	75	68	64	70	74	78	82	84	88	86	80
Киров, АМСГ	84	81	75	66	60	66	70	75	80	84	87	85	76
Яранск	84	82	79	73	65	69	72	75	81	84	87	85	80
Кильмезь	84	81	76	68	60	68	71	76	80	83	87	85	77
Глазов	83	81	78	72	64	70	74	77	82	85	87	84	78
Ижевск	82	81	77	70	60	66	71	74	78	82	86	84	79
Морки	82	79	76	70	62	67	71	74	78	82	86	84	78
Чебоксары	84	81	77	69	59	67	69	71	77	82	87	85	77
Алатырь	84	82	80	71	60	68	70	71	76	83	88	86	79
Казань	83	81	78	69	58	65	69	70	75	80	86	84	76
Елабуга	82	79	79	69	59	65	69	72	75	80	84	83	77
Чистополь	86	83	81	73	62	70	72	75	78	84	87	86	80
Чупаново	83	81	82	73	60	69	72	73	75	81	86	84	79
Бугульма	83	81	78	69	55	65	69	70	72	80	86	84	76
Ульяновск	84	82	81	69	58	67	70	71	74	80	85	84	76
Канадей	80	78	78	66	57	64	66	67	71	76	83	82	75
Серноводск	81	79	79	67	54	63	66	66	68	78	85	82	73
Самара	83	80	78	64	52	61	63	64	67	76	86	85	73
Авангард	81	79	81	67	53	61	62	61	64	75	84	82	73
Среднее	83	81	78	69	60	67	70	72	76	81	86	84	77
Максимум	86	83	82	73	65	70	75	80	84	86	88	86	80
Минимум	80	78	75	64	52	61	62	61	64	75	83	82	73
Разность	6	5	7	9	13	9	13	19	20	11	5	4	7

Таблица 7.6

Повторяемость (%) проявлений годовых максимумов и минимумов относительной влажности воздуха в различные месяцы года

Станции	Время обнаружения годового максимума												Время обнаружения годового минимума				
	IX	X	XI	XII	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Амплитуда
Опарино	2,63	23,68	39,48	18,43	7,89	7,89	0	8,11	65,57	21,62	0	0	0	0	0	0	0
Киров, АМСГ	0	7,69	51,29	25,64	10,25	5,13	0	10,25	69,24	17,95	2,56	0	0	0	0	0	0
Уржум	0	7,69	51,29	20,51	12,82	5,13	2,56	2,70	78,38	18,92	0	0	0	0	0	0	0
Ижевск	2,70	8,10	51,35	29,72	2,70	5,94	0	2,70	86,48	10,81	2,70	0	0	0	0	0	0
Чебоксары	0	2,85	51,42	20,00	17,14	8,57	0	3,03	81,81	15,15	3,03	0	0	0	0	0	0
Морки	0	8,10	45,94	35,13	8,10	2,70	0	2,77	91,66	5,55	0	0	0	0	0	0	0
Казань, оп	0	0	66,70	19,40	13,90	0	0	5,40	83,80	8,10	2,70	0	0	0	0	0	0
Ульяновск	0	3,40	62,20	17,20	17,20	0	0	0	89,60	10,40	0	0	0	0	0	0	0
Самара	0	0	47,50	40,00	12,50	0	0	0	78,37	13,51	8,10	0	0	0	0	0	0

Отклонения средних месячных величин относительной влажности от их средних многолетних значений (табл. 7.5) в отдельные годы могут достигать больших значений (табл. 7.7).

Таблица 7.7

Наибольшие и наименьшие средние месячные величины относительной влажности воздуха (%), наблюдавшиеся один раз за период 1966–2004 гг.

Станции	Средние месячные величины относительной влажности	
	Наибольшие (месяц, год)	Наименьшие (месяц, год)
Опарино	91 (XI, 1977)	53 (V, 1978)
Киров, АМСГ	91 (XI, 1976)	49 (V, 1973)
Уржум	93 (XI, 1971)	51 (V, 1973)
Ижевск	94 (XII, 1988)	50 (V, 1991)
Чебоксары	93 (XII, 1972)	49 (V, 1984)
Морки	90 (XI, 1971; II, 1995; XII, 2003)	51 (V, 1979)
Казань, оп	92 (XI, 1970)	49 (V, 1984)
Ульяновск	89 (XII, 2000)	42 (V, 1984)
Самара	90 (XI, 1971; XII, 2000)	36 (V, 1984)

Суточный ход относительной влажности на территории Среднего Поволжья противоположен суточному ходу температуры воздуха. На большинстве станций суточный максимум относительной влажности наблюдается в 0–3 ч., а суточный минимум почти повсеместно — около 12 ч. по местному времени (табл. 7.8 а, 7.8 б).

Амплитуды суточных изменений относительной влажности воздуха $a(f)$ достигают наибольших значений в мае (табл. 7.8 а). Средняя по территории Среднего Поволжья амплитуда $a(f)$ в мае составляет 31,5%. Вместе с тем разброс величин $a(f)$ в это время года по территории оказывается довольно значительным: от 24,9 % на ст. Чебоксары ($H = 168$ м. абс.) до 40,3 % (ст. Чулпаново (Татарстан) ($H = 78$ м. абс.)). Между майскими амплитудами $a(f)$ и высотами рельефа обнаруживается прямая отрицательная стохастическая связь [$r(a(f), H) = -0,373$], проявляющаяся в наличии тенденции к некоторому затуханию суточного хода относительной влажности воздуха с увеличением высот рельефа.

Таблица 7.8 а

Средние месячные величины относительной влажности (%) по срокам наблюдений (ч. по местному времени) в мае

Станции	Сроки								Амплитуда
	0	3	6	9	12	15	18	21	
Лальск	84,2	78,9	60,1	50,5	48,2	51,4	69,0	79,8	36,0
Кирс	83,4	77,4	59,3	49,9	47,9	51,4	69,4	79,0	35,5
Шабалино	79,0	77,6	61,2	52,2	49,0	52,1	64,7	73,7	30,0
Киров, АМСГ	73,4	71,4	58,3	50,4	47,3	50,2	61,6	68,0	26,1
Яранск	84,1	80,8	60,2	49,4	46,7	51,0	69,6	79,1	37,4
Кильмезь	73,6	73,3	57,4	48,2	45,8	49,8	62,3	68,8	27,8
Глазов	81,4	77,6	60,1	50,8	48,6	52,2	67,2	75,9	32,8
Ижевск	76,1	72,5	56,9	47,5	45,4	49,7	63,9	70,8	30,7
Морки	79,9	77,8	57,6	47,4	44,9	48,2	64,0	74,5	35,0
Чебоксары	70,9	71,4	59,5	49,7	46,5	49,5	60,7	66,2	24,9
Алатырь	72,5	74,7	62,0	49,8	45,8	48,9	59,6	66,1	28,9
Казань	72,1	70,2	56,4	46,9	44,4	48,2	61,3	67,5	27,7
Елабуга	75,6	70,4	55,6	46,6	44,6	48,5	63,6	70,6	31,0
Чистополь	74,0	74,1	59,9	50,9	47,8	51,7	63,8	69,7	26,3
Чулпаново	81,4	77,5	54,2	43,7	41,1	45,3	63,6	75,0	40,3
Бутульма	69,1	66,3	51,4	43,7	42,3	46,0	59,5	64,9	26,8
Ульяновск	75,7	74,3	55,2	44,1	42,0	45,2	59,7	68,9	33,7
Канадей	78,3	77,6	53,5	41,1	38,5	41,7	56,1	69,4	39,8
Серноводск	69,0	69,5	51,9	40,9	38,3	42,4	54,1	62,4	31,2
Самара	64,9	64,5	52,3	41,9	39,3	42,8	53,3	59,0	25,6
Авангард	71,0	68,6	47,8	38,4	36,0	39,8	56,9	65,4	35,0
Среднее	75,7	73,6	56,7	46,9	44,3	47,9	62,1	70,2	31,5
Максимум	84,2	80,8	62,0	52,2	49,0	52,2	69,6	79,8	40,3
Минимум	64,9	64,5	47,8	38,4	36,0	39,8	53,3	59,0	24,9
Разность	19,3	16,3	14,2	13,8	13,0	12,4	16,3	20,8	15,4

Таблица 7.8 б

Средние месячные величины относительной влажности (%)
по срокам наблюдений (ч. по местному времени) в ноябре

Станции	Сроки								Ампли- туда
	0	3	6	9	12	15	18	21	
Лальск	88,3	88,3	87,8	85,0	88,5	86,9	87,5	87,9	3,5
Кирс	88,1	88,1	87,6	83,7	84,0	86,3	87,4	87,8	4,4
Шабалино	89,0	89,3	89,0	85,7	84,7	86,6	87,6	88,5	4,6
Киров, АМСГ	87,8	88,0	87,4	84,3	84,2	86,2	86,7	87,4	3,8
Яранск	88,8	89,2	88,6	84,6	83,9	86,5	87,5	88,3	5,3
Кильмезь	88,2	88,3	87,5	84,4	83,9	86,3	87,2	87,7	4,4
Глазов	88,2	88,3	87,6	84,3	84,0	86,4	87,3	87,7	4,3
Ижевск	87,8	87,8	86,5	83,1	83,2	85,7	86,9	87,4	4,7
Морки	87,1	87,4	87,1	83,1	82,3	85,1	85,9	86,6	5,1
Чебоксары	88,3	88,8	88,2	84,9	83,8	86,1	86,9	87,7	5,0
Алатырь	89,7	90,3	89,6	86,2	84,6	86,4	87,7	88,6	5,7
Казань	87,2	87,7	87,0	83,5	83,2	85,3	86,1	86,5	4,5
Елабуга	85,9	85,8	85,0	80,6	80,9	83,6	84,9	85,5	5,3
Чистополь	88,6	89,0	88,3	85,6	85,2	86,9	87,7	88,0	3,8
Чулпаново	87,9	88,1	87,4	83,2	82,8	86,2	87,3	87,8	5,3
Бугульма	87,5	87,8	86,9	83,0	83,3	85,9	86,6	87,0	4,8
Ульяновск	86,6	87,1	86,4	81,7	81,1	84,8	86,0	86,4	6,0
Канадей	85,8	86,4	85,4	78,9	77,1	82,2	84,3	85,4	9,3
Серноводск	86,0	86,5	86,0	82,0	81,4	83,9	85,0	85,6	5,1
Самара	87,5	87,9	87,1	82,3	81,9	84,8	86,1	86,8	6,0
Авангард	85,9	86,4	84,8	79,5	79,3	83,9	84,9	85,5	7,1
Среднее	87,6	87,9	87,2	83,3	83,0	85,5	86,5	87,1	5,1
Максимум	89,7	90,3	89,6	86,2	88,5	86,9	87,7	88,6	9,3
Минимум	85,8	85,8	84,8	78,9	77,1	82,2	84,3	85,4	3,5
Разность	3,9	4,5	4,8	7,3	11,4	4,7	3,4	3,2	5,8

К концу осени (ноябрь) происходит многократное ослабление суточного хода относительной влажности: среднее для всей территории значение амплитуды $a(f)$ составляет всего 4,9 %. (табл. 7.8. б). Крайние же значения амплитуд колеблются от 3,5 % (ст. Лальск (крайний северо-запад Кировской обл.), $H = 85$ м. абс.) до 9,3% (ст. Канадей

(Ульяновской обл., Приволжская возвышенность), $H = 108$ м. абс.). При этом $r(a(f), H) = -0,134$.

Как видно, и весной, и поздней осенью с ростом (понижением) высот местности обнаруживается тенденция постепенного затухания (усиления) суточного хода относительной влажности воздуха, наиболее надежно проявляющаяся лишь в мае.

Важными показателями режима влажности воздуха являются числа дней с относительной влажностью не более 30% и не менее 80 %. В научной литературе первые из указанных дней определяются как «сухие дни», а вторые — как «влажные дни».

Сухим днем считается такой, когда хотя бы в один из восьми стандартных сроков наблюдений относительная влажность не превышает 30%. День, в котором относительная влажность воздуха в 12–15 час составляет не менее 80%, считается влажным.

Из рассмотрения табл. 7.9, 7.10 следует, что частоты повторений сухих и влажных дней находятся в согласии с ранее рассмотренным годовым ходом относительной влажности (табл. 7.5). Видно, что в условиях Среднего Поволжья наибольшее число сухих дней наблюдается в мае, а наибольшее число влажных дней — в ноябре (декабре).

В мае при осреднении по всей территории Среднего Поволжья наблюдается 11 сухих дней (табл. 7.9). При этом наименьшее их число ($N_c = 7$ дней) наблюдается на ст. Шабалино (на западе Кировской обл.), Чебоксары, Чистополь, а наибольшее ($N_c = 17$ дней) — на ст. Авангард (на юге Самарской обл.).

Из сравнения коэффициентов корреляции $r(N_c, H) = -0,026$, $r(N_c, \phi) = -0,688$, $r(N_c, \lambda) = 0,299$ следует, что в распределении по территории чисел сухих дней решающее значение принадлежит изменениям географической широты (ϕ). Надежность этого утверждения превышает 99,9%, поскольку $r_{0,001} = 0,61$ (Шторм, 1970). При этом имеет место ярко выраженная тенденция увеличения числа сухих дней при пересечении территории с севера на юг, и наоборот. Если на станциях Кировской области $N_c = 8–10$ дней, то в Самарской области $N_c = 14–17$ дней (табл. 7.9).

Заметное влияние на распределение N_c в мае оказывает и географическая долгота (λ): неравенство $r(N_c, \lambda) > 0$ указывает на некоторое увеличение числа сухих дней при пересечении территории в восточном направлении.

Среднее многолетнее число дней с относительной влажностью не более 30%

Станции	Месяцы												Сумма за год	Ампли-туда
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII		
Лалск	0	0	1	5	9	5	1	1	0	0	0	0	22	9
Кирс	0	0	1	4	10	5	1	0	0	0	0	0	21	10
Шабалино	0	0	1	3	7	2	1	1	0	0	0	0	15	7
Киров, АМСГ	0	0	0	3	9	4	1	1	0	0	0	0	18	9
Яранск	0	0	0	2	8	4	2	1	0	0	0	0	17	8
Кильмезь	0	0	1	4	10	3	1	1	1	1	0	0	22	10
Глазов	0	0	0	2	8	3	1	1	1	0	0	0	16	8
Ижевск	0	0	0	3	10	4	2	1	1	0	0	0	21	10
Морки	0	0	0	3	10	5	2	2	1	1	0	0	24	10
Чебоксары	0	0	0	2	7	2	1	1	1	0	0	0	14	7
Алатырь	0	0	0	2	8	3	2	2	1	1	0	0	19	8
Казань	0	0	0	2	10	4	2	2	2	1	0	0	23	10
Елабуга	0	0	0	3	10	4	2	2	2	1	0	0	24	10
Чистополь	0	0	0	1	7	2	1	1	1	0	0	0	13	7
Чуланово	0	0	0	4	12	4	2	4	4	1	0	0	31	12
Бугульма	0	0	0	3	13	4	2	3	3	1	0	0	29	13
Ульяновск	0	0	0	5	11	4	2	3	2	1	0	0	28	11
Канадей	0	0	0	7	15	8	6	7	5	2	0	0	50	15
Серноводск	0	0	0	5	16	6	4	5	5	1	0	0	42	16
Самара	0	0	0	6	14	6	4	5	4	1	0	0	40	14
Авангард	0	0	0	7	17	10	8	10	8	2	0	0	62	17
Среднее	0	0	0	4	11	4	2	3	2	1	0	0	26	11
Максимум	0	0	1	7	17	10	8	10	8	2	0	0	62	17
Минимум	0	0	0	1	7	2	1	0	0	0	0	0	13	7
Разность	0	0	1	6	10	8	7	10	8	2	0	0	49	10

Среднее многолетнее число дней с относительной влажностью не менее 80%

Станции	Месяцы												Сумма за год	Ампли-туда
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII		
Лалск	22	16	10	7	5	6	7	5	14	22	26	24	164	21
Кирс	21	14	10	7	6	6	7	10	14	21	25	22	163	19
Шабалино	21	14	10	7	5	6	7	8	12	19	24	24	157	19
Киров, АМСГ	23	15	10	6	5	5	6	7	12	19	24	24	156	19
Яранск	22	16	11	7	4	5	5	6	11	19	24	24	154	20
Кильмезь	22	16	11	7	5	6	6	8	12	19	24	24	160	19
Глазов	21	16	11	8	5	6	7	8	13	20	24	23	162	19
Ижевск	21	14	11	6	5	4	6	6	12	18	23	22	148	19
Морки	19	13	9	6	4	5	5	6	9	17	23	22	138	19
Чебоксары	23	15	12	6	4	5	5	6	9	17	23	24	149	20
Алатырь	21	16	13	7	4	6	6	6	10	18	23	23	153	19
Казань	21	15	12	6	3	4	5	5	8	16	22	23	140	20
Елабуга	19	14	12	5	4	4	5	5	9	16	21	21	135	17
Чистополь	23	17	15	8	4	6	5	7	10	18	24	25	162	21
Чуланово	20	15	17	9	3	5	4	5	8	16	23	22	147	20
Бугульма	21	16	13	7	4	5	6	6	9	18	23	23	151	19
Ульяновск	23	15	13	6	3	4	4	5	8	15	23	23	142	20
Канадей	15	11	10	5	3	4	3	4	6	10	19	19	109	16
Серноводск	17	13	12	6	3	4	4	5	6	14	20	20	124	17
Самара	19	14	12	5	3	3	3	3	6	12	22	23	125	20
Авангард	17	14	16	6	2	3	2	2	5	13	21	20	121	19
Среднее	21	15	12	7	4	5	5	6	10	17	23	23	146	19
Максимум	23	17	17	9	6	6	7	10	14	22	26	25	164	21
Минимум	15	11	9	5	2	3	2	2	5	10	19	19	109	16
Разность	8	6	8	4	4	3	5	8	9	12	7	6	55	5

Влияние высот орографии (H) на географическое распределение числа сухих дней в мае практически ни в чем не проявляется, о чем свидетельствует пренебреженно малое значение коэффициента корреляции $r(N_e, H)$.

Среднее по всей территории число влажных дней (N_e) в ноябре (декабре) составляет 23 дня. Наименьшее число таких дней ($N_e = 19-20$) в ноябре отмечается на ст. Канадей, (Ульяновская обл.) и Серноводск (Самарская обл.), а наибольшее ($N_e = 25-26$) – на ст. Лальск и Кирс (Кировская обл.).

Из данных о коэффициентах корреляции $r(N_e, H) = 0,159$, $r(N_e, \phi) = 0,808$, $r(N_e, \lambda) = -0,061$ в ноябре следует, как и в предыдущем случае, что практически все особенности распределения чисел влажных дней по территории определяются действием географической широты (ϕ), которая и объясняет свыше 65% $\approx (0,808)^2 \cdot 100\%$ всего многообразия территориального распределения N_e .

Отклонения чисел сухих и влажных дней от их средних многолетних значений в отдельные годы может быть весьма значительным (табл. 7.11).

В сухие дни резко возрастает скорость потери влаги испаряющими поверхностями (почва, растительный покров и др.). Большая сухость воздуха, как правило, сопровождается значительным дефицитом осадков. В итоге создаются неблагоприятные условия для развития сельскохозяйственных культур, особенно на стадии их активной вегетации (май-июль). Напротив, в конце лета и в начале осени (август-сентябрь) сухие дни благоприятствуют уборке урожая.

Аномально высоким значениям повторяемости числа сухих и влажных дней соответствуют, как правило, частые и длительные аномалии циркуляционного режима. Так, например, аномально высокая повторяемость чисел сухих дней в мае 1973, 1984 и 1988 гг. сопровождалась аномально высокой повторяемостью процессов, относимых к восточной (E) форме циркуляции (по классификации Г.Я. Вангенгейма). Количество дней в мае с этой формой в указанные годы составили соответственно 21, 23 и 21 день. Аномально высокая повторяемость влажных дней в сентябре 1987 г. и 1990 г. была обусловлена высокой повторяемостью синоптических процессов, относимых к западной (W) форме циркуляции: месячные суммы чисел дней с W – формой

составили в эти годы 19 и 12 (соответственно). Аномально высокая повторяемость влажных дней в сентябре 1996 г. (табл. 7.11) была связана с преобладанием синоптических процессов, относимых к меридиональной (C) форме циркуляции.

Таблица 7.11

Наибольшие число сухих и влажных дней и годы (в скобках) их наблюдений в периоды активной вегетации и уборки сельскохозяйственных культур (1966–2004 гг.)

Станции	Период активной вегетации с.-х. культур (мес)			Период уборки с.-х. культур (мес)	
	V	VI	VII	VIII	IX
1. Наибольшее число сухих дней					
Опарино	15(1988)	12(2002)	7(1988)	4(1997)	1(1995)
Киров, АМСГ	20(1973)	13(1980)	10(1988)	7(1972)	1(2000)
Уржум	19(1984)	16(1975)	12(1981)	13(1972)	6(1995)
Ижевск	19(1975, 1991)	14 (1975)	14(1981)	9(1981)	5(1982)
Чебоксары	23(1984)	9(1968)	12(1972)	23(1972)	3(1995)
Морки	22(1988)	13(1975)	14(1981)	18(1972)	4(1995)
Казань, оп	18(1988)	16(1973)	11(1972)	20(1972)	8(1995)
Сенгилей	23(1996)	10(1992)	13(1972)	23(1972)	8(1972)
Самара	28(1998)	20(1975)	18(1972)	26(1972)	13(1969)
2. Наибольшее число влажных дней					
Опарино	15(1980)	14(2003)	14(1994)	20(1998)	22(1996)
Киров, АМСГ	13(1980)	12(1983)	14(1994)	15(1998)	19(1990)
Уржум	9(1989)	13(1985)	13(1994)	12(1980)	23(1987)
Ижевск	11(1997)	9(1985)	15(1994)	14(1984)	20(1978, 1980, 1987)
Чебоксары	9(1978)	12(1985)	13(1994)	12(1980)	17(1987)
Морки	10(2000)	10(2003)	10(1994)	11(1991)	20(1987)
Казань, оп	8(1978)	11(1978)	12(1994)	13(1976)	21(1978)
Сенгилей	8(1989)	12(1978, 1985)	10(1989)	15(1994)	18(1987)
Самара	7(1997)	9(1994)	8(1994)	9(1980)	17(1987)

Географические особенности распределения относительной влажности по территории Среднего Поволжья определяются закономерностями пространственно-временного распределения давления водяного пара (о чем речь уже шла) и температуры воздуха.

Как следует из равенства (7.3), относительная влажность воздуха находится в прямой зависимости от давления пара (e) и в обратной зависимости от давления насыщения $E(t)$. В то же время первая из них находится в линейной, а вторая в степенной (положительной) зависимости от температуры воздуха (Тверской, 1962; Матвеев, 1984). С увеличением географической широты (ϕ) температура воздуха понижается, что влечет за собою понижение как давления пара (e), о чем речь уже шла, так и давления насыщения $E(t)$. При этом понижение давления насыщения происходит опережающими темпами. Поэтому первая наиболее существенная особенность пространственного распределения относительной влажности состоит в ее некотором увеличении при пересечении территории с юга на север. Эта особенность наиболее ярко выражена в мае и несколько слабее в ноябре (рис. 7.2), о чем и свидетельствуют также соответствующие значения коэффициентов корреляции: $r(f(V), \phi) = 0,708$, $r(f(XI), \phi) = 0,561$.

Значительное влияние на географию распределения относительной влажности влияет и географическая долгота (λ): $r(f(V), \lambda) = -0,331$, $r(f(XI), \lambda) = -0,416$. Как видно, при пересечении территории в восточном направлении относительная влажность уменьшается. Эта особенность наиболее ярко проявляется в ноябре.

Роль высот орографии (H) в распределении относительной влажности выявляется (табл. 7.12) наименее надежно [$r(f(V), H) = -0,128$, $r(f(XI), H) = 0,157$] и, вероятно, маскируется действием первых двух факторов (ϕ, λ).

Рис. 7.2, однако, показывают, что «очаги сухости» по-прежнему «привязаны» к основным возвышенностям (Вятский Увал, Верхнекамская, Бугульминско-Белебеевская, Общий Сырт, Приволжская), а «очаги влажности» — к понижениям (Верхневятская, Марийская, Заволжская низменности и долина Волги). Так, например, в ноябре относительная влажность на Бугульминско-Белебеевской возвышенности не менее чем на 3% (в среднем) ниже, чем в долине Волги и Низменном Заволжье. Если в том же месяце относительная влажность

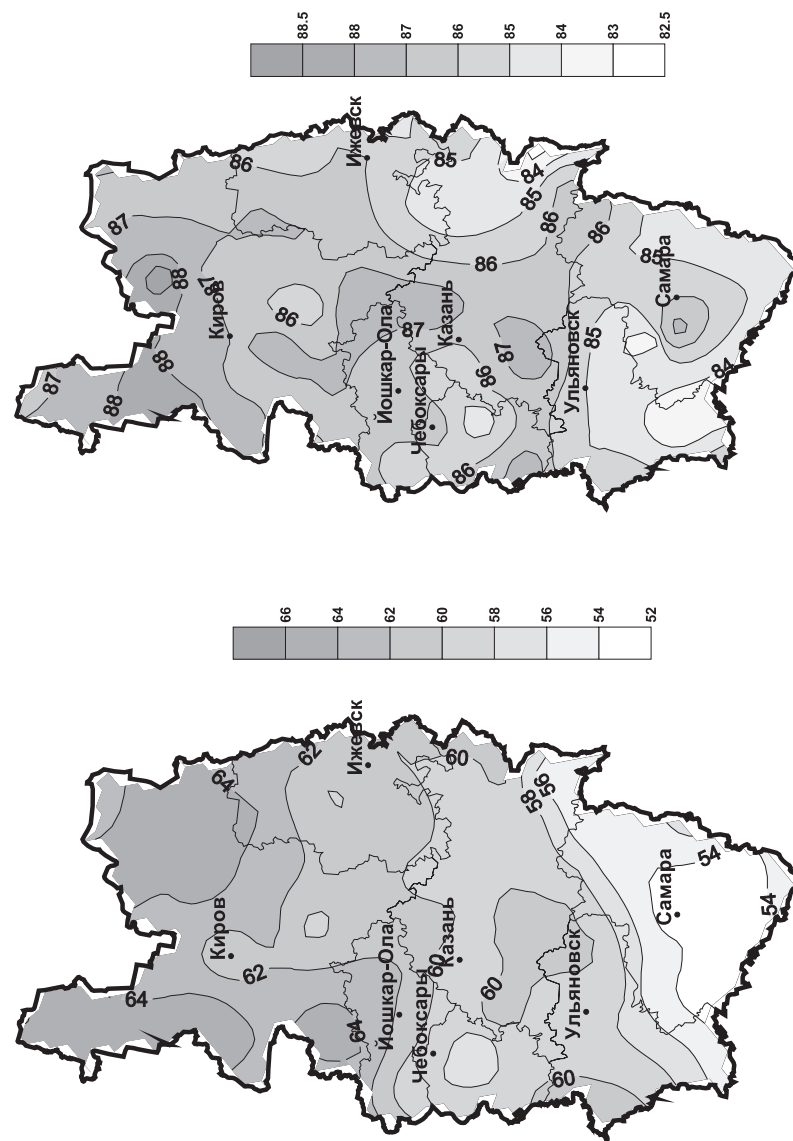


Рис. 7.2. Средние месячные значения относительной влажности воздуха (%) в мае (слева) и в ноябре (справа)

воздуха на склонах Вятского Увала $\leq 86\%$, то на пространстве Верхне-вятской низменности она несколько выше ($\geq 88\%$).

Таблица 7.12

Высоты (*H*, м.абс) метеорологических станций и средние многолетние значения относительной влажности (%) в мае [*f*(V)] и ноябре [*f*(XI)]

Станции	<i>H</i>	<i>f</i> (V)	<i>f</i> (XI)	Станции	<i>H</i>	<i>f</i> (V)	<i>f</i> (XI)
Бугульма	333	55	86	Казань, ЦГМС	120	66	86
Ульяновск	170	58	85	Кильмезь	116	60	87
Кирс	168	65	87	Канадей	108	57	83
Шабалино	166	64	88	Чистополь	106	62	87
Чебоксары	162	59	87	Яранск	103	65	87
Ижевск	155	60	86	Елабуга	90	59	84
Киров	143	60	87	Лальск	85	65	87
Самара	136	52	86	Чулпаново	78	60	86

Совокупное же влияние на географию распределения относительной влажности *f* (*V*), *f* (*XI*) комплекса признаков ϕ , λ , *H* оценивается следующими величинами МКК: $R_{f(V) \cdot \phi, \lambda, H} = 0,764$ (~ 58%), $R_{f(XI) \cdot \phi, \lambda, H} = 0,725$ (~ 52%). Сравнивая эти показатели с аналогичными им для полей влажности *e* (*I*), *e* (*VII*), можно прийти к выводу о том, что для более полного объяснения географических особенностей распределения полей влажности *f* (*V*), и *f* (*XI*) желательно (помимо ϕ , λ , *H*) привлечение более полного перечня влияющих признаков.

7.3. Дефицит влажности и температура точки росы

Дефицит влажности и температура точки росы тесно связаны с величинами относительной влажности и давления водяного пара (см. формулу 7.1). При этом изменения дефицита влажности находятся почти в полной противофазе по отношению к изменениям относительной влажности. Изменения же температуры точки росы находятся в тесной прямой, (почти в функциональной (в июле)) связи с изменениями давления пара.

Таблица 7.13

Средние месячные и годовые значения дефицита влажности, гПа

Станции	Месяцы												Среднее за год	Амплитуда
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII		
Лальск	0,4	0,5	1,3	2,9	4,9	7,0	6,7	4,4	2,3	1,2	0,5	0,4	2,7	6,6
Кирс	0,3	0,5	1,3	3,0	5,2	6,8	6,6	4,2	2,3	1,2	0,5	0,4	2,7	6,5
Шабалино	0,3	0,5	1,3	3,2	5,6	6,8	6,7	4,7	2,6	1,3	0,5	0,4	2,8	6,5
Киров, АМСГ	0,4	0,5	1,3	3,3	6,2	7,6	7,5	5,3	2,8	1,3	0,5	0,4	3,1	7,2
Яранск	0,4	0,5	1,0	2,9	5,8	7,3	7,6	5,7	3,0	1,4	0,5	0,4	3,0	7,2
Кильмезь	0,4	0,5	1,3	3,6	6,7	7,9	8,1	5,2	3,3	1,6	0,5	0,4	3,3	7,7
Глазов	0,3	0,5	1,0	2,6	5,7	6,9	6,9	5,0	2,7	1,3	0,5	0,4	2,8	6,6
Ижевск	0,4	0,5	1,1	3,1	6,7	7,7	7,5	5,7	3,4	1,5	0,5	0,4	3,2	7,3
Морки	0,4	0,6	1,1	3,2	6,7	8,0	7,9	6,1	3,5	1,6	0,6	0,5	3,4	7,6
Чебоксары	0,4	0,5	1,1	3,3	7,0	8,0	8,3	6,8	3,7	1,6	0,6	0,4	3,5	7,9
Алатырь	0,4	0,5	1,0	3,5	7,3	7,6	8,2	7,1	4,1	1,6	0,6	0,4	3,5	7,8
Казань	0,4	0,5	1,1	3,4	7,6	8,3	8,3	7,0	4,1	1,8	0,7	0,5	3,6	7,9
Елабуга	0,4	0,6	1,1	3,5	7,3	8,4	8,6	6,6	4,1	1,9	0,7	0,5	3,6	8,2
Чистополь	0,3	0,4	0,9	3,0	6,9	7,3	7,3	5,4	3,7	1,6	0,5	0,4	3,1	7,0
Чулпаново	0,4	0,5	0,8	3,4	7,8	7,8	7,9	6,8	4,5	1,9	0,6	0,4	3,6	7,5
Бугульма	0,4	0,5	1,0	3,5	7,9	8,1	7,9	6,8	4,7	1,9	0,6	0,4	3,7	7,7
Ульяновск	0,5	0,6	1,0	4,0	8,0	8,5	8,4	6,8	4,5	2,0	0,7	0,5	3,8	8,0
Канадей	0,6	0,7	1,2	4,5	8,7	9,7	10,1	8,6	5,5	2,5	0,9	0,6	4,5	9,5
Серноводск	0,4	0,5	1,0	4,2	9,0	9,3	9,5	8,6	5,8	2,3	0,7	0,5	4,3	9,1
Самара	0,4	0,5	1,1	4,7	9,6	10,2	10,3	9,2	6,0	2,5	0,7	0,4	4,6	9,9
Авангард	0,5	0,5	0,9	4,5	9,7	11,0	11,7	10,7	7,1	2,7	0,8	0,5	5,0	11,2
Среднее	0,4	0,5	1,1	3,5	7,2	8,1	8,2	6,5	4,0	1,7	0,6	0,4	3,5	7,9
Максимум	0,6	0,7	1,3	4,7	9,7	11,0	11,7	10,7	7,1	2,7	0,9	0,6	5,0	11,2
Минимум	0,3	0,4	0,8	2,6	4,9	6,8	6,6	4,2	2,3	1,2	0,5	0,4	2,7	6,5
Разность	0,3	0,3	0,5	2,1	4,8	4,2	5,1	6,5	4,8	1,5	0,4	0,2	2,3	4,7

Станции	Месяцы												Среднее за год	Амплитуда
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII		
Лалек	-17,0	-15,0	-8,9	-3,6	1,6	8,1	11,8	9,9	5,3	-0,7	-7,8	-13,5	-2,4	28,8
Кирс	-17,2	-15,6	-9,3	-3,4	1,8	8,3	12,0	9,9	5,2	-1,1	-8,3	-14,2	-2,7	29,2
Шабалино	-15,3	-14,0	-8,4	-2,3	2,9	9,3	12,5	10,5	5,7	-0,4	-6,8	-12,5	-1,6	27,8
Киров, АМСГ	-15,4	-14,1	-8,3	-2,5	2,5	9,0	12,3	10,3	5,8	-0,6	-7,0	-12,7	-1,8	27,7
Яранск	-15,1	-14,4	-8,4	-1,0	4,0	9,8	12,8	10,6	6,2	0,3	-6,2	-12,1	-1,1	27,9
Кильмезь	-14,2	-13,6	-8,3	-2,2	3,2	10,0	12,9	10,7	6,2	0,1	-7,2	-12,3	-1,2	27,1
Глазов	-16,8	-15,6	-9,0	-2,2	2,9	9,3	12,6	10,2	5,7	-0,6	-7,8	-13,9	-2,1	29,4
Ижевск	-16,0	-15,0	-8,8	-1,7	3,1	9,5	12,6	10,4	5,7	-0,5	-7,2	-13,3	-1,8	28,6
Морки	-14,9	-14,3	-8,4	-1,1	3,8	9,8	12,8	10,7	6,2	0,3	-6,3	-12,2	-1,1	27,7
Чебоксары	-13,7	-13,3	-8,1	-0,9	3,9	10,0	12,8	10,7	6,4	0,5	-5,8	-11,4	-0,7	26,5
Алатырь	-13,5	-12,8	-7,4	0,1	4,6	10,3	13,0	11,0	6,6	0,9	-5,2	-10,9	-0,4	26,5
Казань	-14,2	-13,6	-7,8	-0,4	4,1	10,3	13,2	11,0	6,4	0,6	-5,7	-11,5	-0,6	27,4
Елабуга	-15,3	-14,6	-7,7	-0,7	4,3	10,3	13,4	11,1	6,3	0,1	-6,4	-12,8	-1,0	28,7
Чистополь	-13,4	-13,4	-8,1	-0,6	4,4	11,0	13,7	11,4	6,7	0,9	-6,7	-11,7	-0,5	27,1
Чупаново	-15,1	-14,9	-8,4	0,3	4,4	10,9	13,5	11,1	6,2	0,5	-5,6	-12,1	-0,8	28,6
Бугульма	-15,3	-14,4	-9,0	-1,5	2,5	9,3	12,3	10,0	5,0	-0,7	-6,9	-12,7	-1,7	27,6
Ульяновск	-12,5	-13,1	-7,5	-0,2	4,2	10,8	13,4	11,1	6,6	0,7	-5,7	-10,9	-0,3	26,5
Канадей	-13,9	-13,7	-7,8	-0,1	4,3	10,2	12,6	10,7	6,0	0,4	-5,1	-11,1	-0,6	26,5
Серноводск	-15,0	-14,6	-8,3	-0,3	3,5	10,2	12,7	10,4	5,6	0,2	-5,8	-12,2	-1,2	27,7
Самара	-13,7	-13,3	-7,4	-0,3	3,9	10,3	13,0	10,9	6,2	0,7	-4,8	-10,9	-0,4	26,7
Авангард	-14,8	-14,8	-8,0	0,1	3,6	10,0	12,2	9,8	5,1	0,2	-5,4	-12,0	-1,2	27,0
Среднее	-14,9	-14,2	-8,3	-1,2	3,5	9,8	12,8	10,6	6,0	0,1	-6,4	-12,2	-1,2	27,7
Максимум	-12,5	-12,8	-7,4	0,3	4,6	11,0	13,7	11,4	6,7	0,9	-4,8	-10,9	-0,3	29,4
Минимум	-17,2	-15,6	-9,3	-3,6	1,6	8,1	11,8	9,8	5,0	-1,1	-8,3	-14,2	-2,7	26,5
Разность	4,7	2,8	1,9	3,9	3,0	2,9	1,9	1,6	1,7	2,0	3,5	3,3	2,4	2,9

В связи с этим надобность в специальных описаниях пространственно-временных изменений дефицита влажности и температуры точки росы отпадает. Справочные данные об этих характеристиках читатель может получить, обратившись к табл. 7.13 и 7.14.

7.4. Многолетняя динамика влажности воздуха

К временным (особенно долгопериодным) изменениям влажности воздуха в последнее время проявляется повышенный интерес. Об этом свидетельствуют работы (Кондратьев, Матвеев, 1990 и др.), в которых за процессом современного потепления климата в качестве одной из основных причин видится длительная тенденция увеличения влажности воздуха.

Многолетняя (1966-2004 гг.) динамика характеристик влажности воздуха на территории Среднего Поволжья имеет весьма сложную циклическую природу: периоды роста ее показателей чередуются с периодами их уменьшения, и наоборот. При этом после фазы роста (уменьшения) показателя влажности происходит возврат системы к состоянию не тождественному с начальным, но близкому к нему, после чего следует новый цикл, близкий к первому, но не всегда совпадающему с ним по его длине и амплитуде (Хромов, Мамонтова, 1974).

Анализ многолетней динамики средних январских значений давления пара на ст. Киров, АМСГ обнаруживает присутствие в ней циклов (разной амплитуды) продолжительностью в 2, 3, 5, 6 и более лет, а в динамике средних июльских значений того же признака — 2, 3, 5, 6 и более лет. Вместе с тем и в том и в другом случае наиболее часто повторяющейся является 2-х летняя цикличность.

В многолетних колебаниях относительной влажности в мае присутствует близкий к упомянутым набор циклов продолжительностью в 2, 3, 4 и 6 лет, а в ноябре — 2, 3, 4, 5, 6 и более лет. При этом межгодовые колебания относительной влажности в ноябре (по величине амплитуды) выражены значительно сильнее, нежели в мае. В мае наиболее часто проявляющимся являются циклы в 2 и 3 года, а в ноябре — в 3 года.

Другой важной особенностью многолетней динамики показателей влажности воздуха является присутствие в их рядах систематической

составляющей их изменений (тренда). Тренд – анализ некоторой временной последовательности $y(t)$ сводится к ее разложению на две составляющие:

$$y(t) = f(t) + \varepsilon(t), \tag{7.5}$$

где $f(t)$ – систематическая (тренд), $\varepsilon(t)$ – остаточная (случайная) составляющая, t – функция времени.

Выявление тренда достигается различными способами. Наиболее простейшим из них является линейный тренд – анализ, при котором систематическая составляющая задается уравнением прямой:

$$f(t) = at + a_o. \tag{7.6}$$

Здесь a – коэффициент наклона линейного тренда (КНЛТ), a_o – свободный член. Положительные (отрицательные) значения КНЛТ указывают на присутствие в ряду $y(t)$ постоянной тенденции увеличения (уменьшения) его ординат.

Важной качественной характеристикой тренда является коэффициент детерминации, описывающий относительную величину вклада в полную дисперсию ряда той ее части, которая аппроксимируется его систематической составляющей. Не менее важным при этом является и степень надежности выявления тренда.

Из табл. 7.15 следует, что в течение привлекаемого к анализу 39-летнего периода наблюдений (1966–2004 гг) в межгодовых изменениях средних месячных январских значений давления водяного пара присутствовала весьма надежно ($> 95\text{--}99\%$) выявляемая на большинстве станций устойчивая тенденция постепенного их увеличения ($a > 0$), что находится в согласии с общим потеплением климата. На более быстрыми темпами влажность воздуха увеличивалась на юге (ст. Самара) и заметно медленнее – на севере территории (ст. Опарино, север Кировской области). Действие систематической составляющей в многолетних изменениях давления пара за указанные 39 лет повлекло за собою его увеличение, на ст. Опарино уже на $0,218 \times 3,9 \approx 0,8$ гПа, а на ст. Уржум – на 1,1 гПа.

Систематическое увеличение давления водяного пара имело место и в июле (табл. 7.15). Однако, надежность выявления положительного тренда в его многолетней динамике меньше 95%. Исключением ска-

Таблица 7.15

Коэффициенты наклона (а), детерминации (в, %) и надежность (с, %) выявления линейных составляющих трендов в многолетней (1966–2004 гг.) динамике влажности воздуха

Станции	Давление водяного пара						Относительная влажность					
	Январь			Июль			Май			Ноябрь		
	а, гПа/10 лет	в	с	а, гПа/10 лет	в	с	а, %/10 лет	в	с	а, %/10 лет	в	с
Опарино	0,218	14,7	>95	0,290	5,3	<95	0,277	0,4	<95	-0,393	2,8	<95
Киров, АМСГ	0,269	20,1	>99	0,325	7,0	<95	1,000	4,4	<95	-0,457	3,7	<95
Фаленки	0,269	21,9	>99	0,371	8,6	<95	0,935	4,7	<95	0,097	0,2	<95
Шабалино	0,274	18,8	>95	0,575	18,5	>99	0,944	4,4	<95	-0,457	3,7	<95
Уржум	0,284	21,3	>99	0,266	4,3	<95	0,557	1,3	<95	-0,765	9,7	<95
Казань, оп	0,330	25,3	<95	0,361	8,4	<95	0,176	0,12	<95	-1,185	17,3	<95
Самара	0,338	25,41	<95	0,521	18,7	<95	1,793	7,9	<95	-1,75	31,6	>99

занному является положительный тренд влажности воздуха на ст. Шабалино, надежность выявления которого превышает 99%.

Наиболее важными особенностями многолетней динамики относительной влажности воздуха являются:

1) присутствие в ней значительно более слабого (малые значения коэффициентов детерминации) положительного тренда в мае и отрицательного (на большинстве станций) – в ноябре;

2) недостаточная (< 95 %) надежность (помимо ст. Самара) выявления линейных трендов.

Преобладающая направленность и скорость многолетней динамики относительной влажности воздуха формируются как результат взаимного наложения соответствующей динамики водяного пара и температуры воздуха, что и следует из формулы 7.3. Если темпы многолетних изменений давления пара опережают темпы роста давления насыщения, то в многолетних изменениях относительной влажности будет также проявляться положительный тренд (что мы и наблюдаем в мае), и наоборот (табл. 7.15).

Действия положительного тренда в изменениях относительной влажности в мае и отрицательного в ноябре (табл. 7.15) за 39 лет уже повлекли за собою увеличение относительной влажности на ст. Киров в мае на $1,0 \times 3,9 \approx 4\%$ и, напротив, ее понижение в ноябре примерно на 2,3%.

8. Атмосферные осадки

Важной характеристикой климата являются атмосферные осадки. Осадки являются весьма сложным метеорологическим явлением и характеризуются количеством, числом дней с осадками, видом (фазовым состоянием) и др. В этой работе остановимся более подробно лишь на особенностях режима количества осадков на территории Среднего Поволжья.

Количество осадков – толщина слоя (мм) воды, который мог бы образоваться на горизонтальной поверхности от выпавших жидких и твердых (после их таяния) осадков при отсутствии стока, просачивания и испарения.

Количество осадков измеряется с помощью осадкомера (осадкомерного ведра снабженного специальной защитой). При измерении количества осадков имеют место несколько систематических ошибок – потери собранных осадков на смачивание осадкомерного ведра, испарение осадков из ведра за время между окончанием выпадения осадков и сроком измерения, а также ошибки прибора, связанные с влиянием ветра, что особенно сильно сказывается на точности измерения твердых осадков.

В наблюдениях за атмосферными осадками также присутствуют, по крайней мере, два крупных нарушения их однородности (Климатология, 1989).

Первое – в 30-е годы XX столетия многие станции переносились на открытое место, репрезентативное для большей части метеорологических величин, но не для осадков, особенно твердых (на открытой местности происходит наиболее интенсивное выдувание снега из осадкомерного ведра, что приводит к занижению количества осадков холодного периода).

Второе – начале 1950-х годов на сети метеорологических станций был осуществлен переход к новому прибору измерения осадков – осадкомеру с защитой Третьякова, который заменил дождемер с защитой Нифера. Измерение осадков с помощью осадкомера с защитой Третьякова уменьшило, но не устранило полностью недоучет количества осадков. Следует отметить, что, несмотря на предпринятые меры, полностью устранить влияние нарушения однородности временных рядов количества осадков так и не удалось (Урманова, 1996).

По указанным причинам, а также вследствие изменения климата, сведения о режиме осадков на территории субъектов Федерации входящих в Среднее Поволжье опубликованные в разное время существенно различаются. Так, например, для Республики Татарстан (РТ), по данным осредненным за период с конца XIX века до 1944 г. (Смоляков, 1947) годовые суммы осадков изменялись по территории в пределах 390–460 мм. В книге «Климат Татарской АССР» (1983) указывается, что для периода осреднения удлинённого до 70-х годов XX века годовая сумма осадков на территории Республики составляла 430–500 мм. В то время, как авторами настоящей работы по периоду с 1966 по 2004 гг. установлено, что годовые суммы осадков на территории РТ изменяются в пределах от 450 до 556 мм.

8.1. Среднее количество осадков

В распоряжении авторов имелись метеорологические данные о количестве осадков на 68 станциях исследуемого региона Среднего Поволжья за период с 1966 по 2004 гг. Сведения о средних многолетних суммах атмосферных осадков на некоторых из них представлены в табл. 8.1. С привлечением дополнительно данных 46 метеорологических станций, расположенных на сопредельных территориях, были построены карты-схемы распределения по территории Среднего Поволжья сумм осадков за год, холодный (ноябрь – март) и теплый (апрель–октябрь) периоды (рис. 8.1–8.3).

Осредненные за 1966–2004 гг. по годам (календарный и гидрологический) и периодам (холодный и теплый) суммы осадков распределяются по территории Среднего Поволжья следующим образом.

Таблица 8.1

Средние многолетние значения месячных, сезонных и годовых сумм атмосферных осадков (мм)

Станция	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Год	Хол	Тепл	Г.г.
Лалёк	41	32	30	37	50	66	77	67	55	59	52	46	612	200	411	612
Кирс	41	28	31	35	57	78	74	69	63	63	52	43	632	195	438	632
Шабалино	33	24	23	33	54	73	72	67	59	61	44	37	580	161	419	580
Киров	44	33	31	35	55	67	76	71	64	65	58	50	649	217	433	650
Яранск	33	27	25	32	45	68	69	61	62	63	44	35	563	164	400	564
Кильмезь	29	22	23	34	39	66	77	68	61	57	44	31	553	151	403	554
Глазов	34	24	24	32	46	74	72	61	63	62	44	34	570	159	411	570
Ижевск	32	25	23	29	43	61	64	63	53	54	43	31	522	155	367	522
Морки	32	26	25	33	40	61	68	56	50	50	42	33	515	158	357	515
Чебоксары	31	26	23	33	42	69	64	60	58	58	43	34	541	158	384	542
Алатырь	31	26	23	30	37	58	63	50	48	46	40	35	487	156	331	487
Казань	36	32	27	33	38	67	66	58	52	54	45	38	548	179	369	548
Елабуга	37	30	23	32	46	57	66	61	60	57	46	39	552	173	378	552
Чистополь	32	26	21	29	41	58	57	57	52	54	41	32	500	151	349	500
Чупаново	30	25	21	29	37	71	52	53	50	51	39	32	491	146	344	491
Бугульма	30	23	19	26	44	73	68	58	58	57	40	30	528	143	384	527
Ульяновск	29	23	20	30	37	66	66	49	52	42	33	28	475	133	342	474
Канадей	26	21	19	28	36	59	59	46	42	36	30	26	426	120	305	426
Серноводск	34	27	21	26	31	59	50	43	45	47	39	36	458	157	301	457
Самара	48	41	32	38	36	58	58	48	44	54	52	51	559	223	336	558
Авангард	25	20	21	25	32	53	40	33	36	38	32	29	386	128	258	386

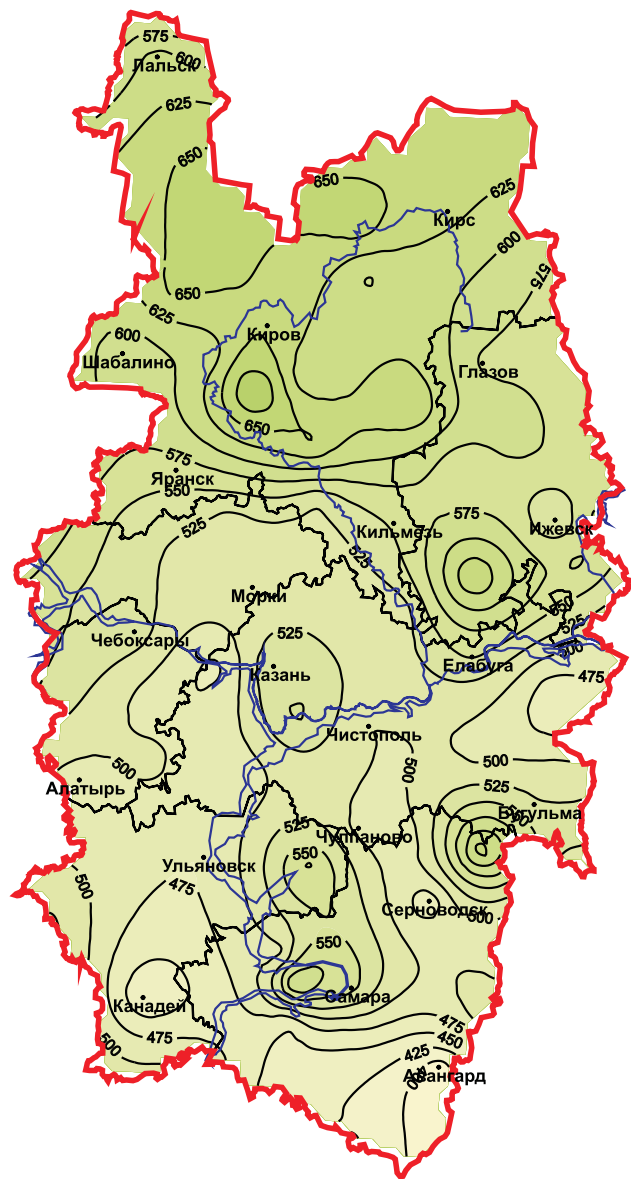


Рис. 8.1. Среднее годовое количество осадков (мм)

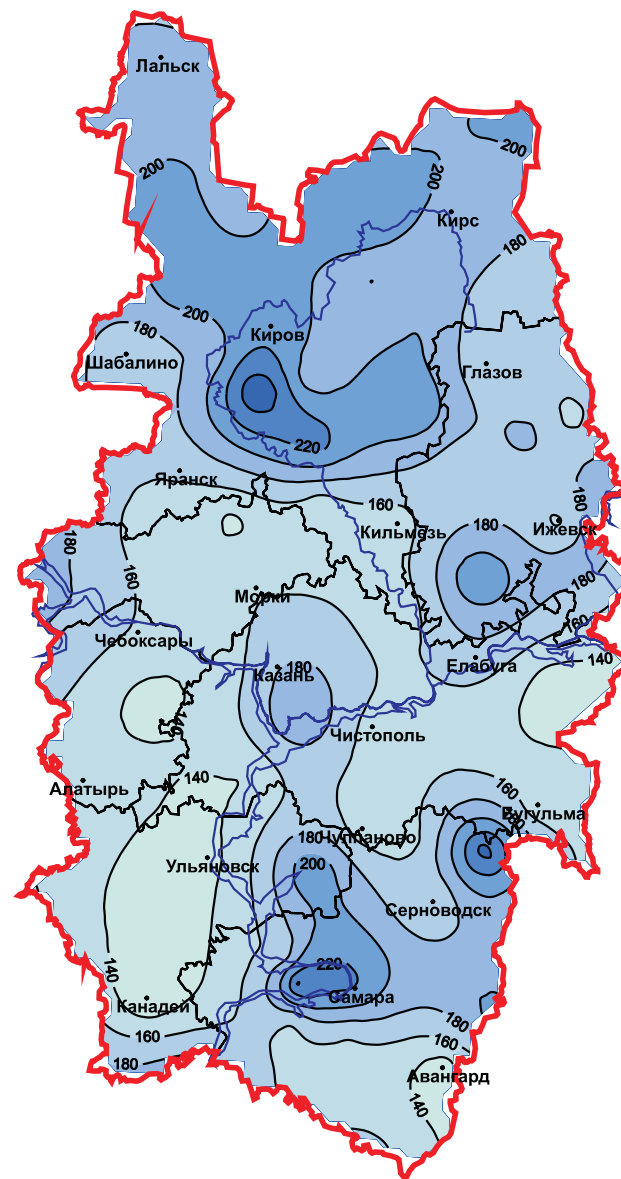


Рис. 8.2. Среднее количество осадков (мм) за холодный период

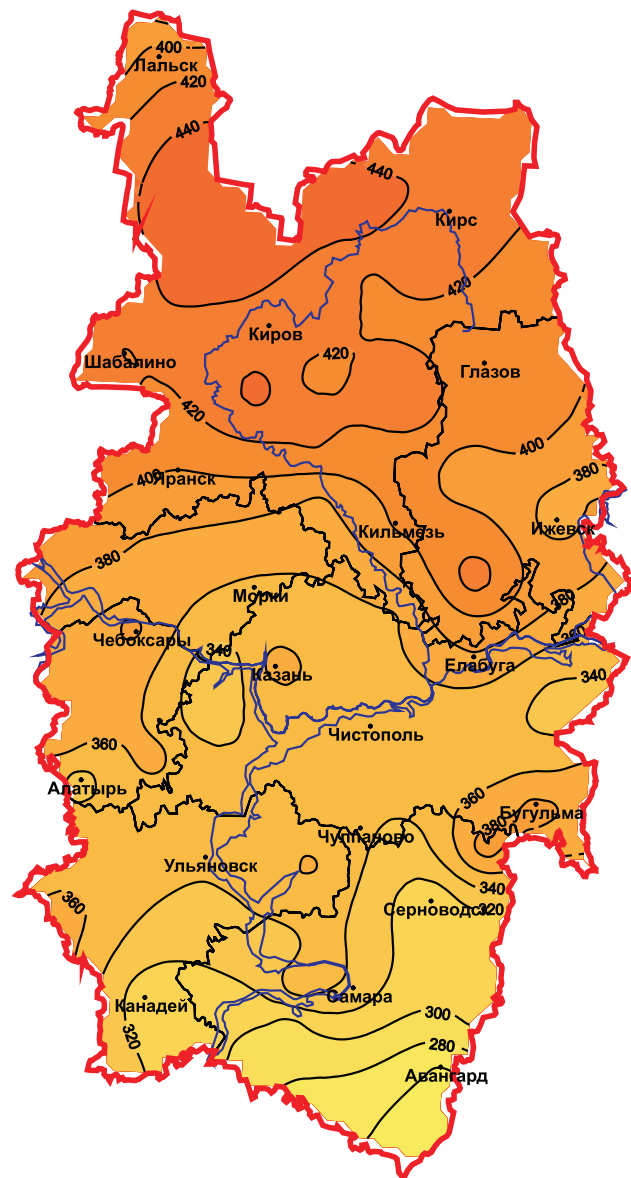


Рис. 8.3. Среднее количество осадков (мм) за теплый период

Годовые суммы осадков возрастают с юга на север примерно от 400 мм (юго-восток) до 650 мм северная часть. В среднем по региону многолетняя годовая сумма осадков в настоящее время (1966–2004 гг.), как за календарный, так и за гидрологический год (ноябрь–октябрь) составляет 540 мм.

В холодный период (ноябрь–март) распределение осадков достаточно неоднородное, на крайнем юго-востоке выпадает меньше всего – 140 мм, а на северо-западе и севере территории – 200 мм. Максимум располагается южнее Кирова (220 мм). Среднее количество осадков холодного периода в регионе составляет 170 мм.

В теплый период (апрель–октябрь) распределение осадков имеет примерно зональный характер: с 440 мм (на севере) количество осадков уменьшается до 260 мм на юго-востоке. В то же время отмечают локальные максимумы, например, в районе Бугульмы 380 мм, где сказывается влияние Бугульминско-Белебеевской возвышенности. В среднем по региону в теплый период количество осадков составляет 370 мм. Таким образом, осадки теплого периода года более чем в два раза превосходят осадки холодного.

Средние месячные суммы осадков обнаруживают хорошо выраженный годовой ход. Минимумы наблюдаются в феврале – марте и изменяются в пределах от 20 (ст. Зерносовхоз Авангард Самарской области – февраль) до 35 мм (ст. Можга, Удмуртия – февраль и ст. Клявлино, Самарская область – март). Максимумы же имеют место в июне или в июле и колеблются от 53 (ст. Зерносовхоз Авангард – июнь) до 88 мм (ст. Котельнич – июль).

Атмосферные осадки являются результатом взаимодействия атмосферных циркуляционных процессов различного масштаба. Кроме того, они существенно зависят от высоты, формы и ориентации рельефа местности, наличия на территории крупных лесных массивов, водоемов, речных долин и т.п. В силу указанных причин распределение атмосферных осадков, как во времени, так и в пространстве характеризуется значительной неоднородностью.

В среднем за год наибольшее количество атмосферных осадков выпадает в северной части Среднего Поволжья – в Кировской области и Удмуртской республике. На территории этих субъектов Российской Федерации наблюдается уменьшение годовых сумм осадков с севера

на юг. В Кировской области среднее годовое количество осадков составляет 610 мм, а в Удмуртии, располагающейся юго-восточнее, — 570 мм. При этом выделяются два территориальных максимума. Первый в районе Верхошижемья (южнее Кирова), где средняя годовая сумма осадков составляет 710 мм, второй у города Можга в Удмуртии — 650 мм (рис. 8.1).

Большее количество осадков на севере исследуемого региона определяется общеклиматической зональностью в распределении осадков по территории полушария, а также большей активностью циклонической деятельности в северной части Среднего Поволжья. Неоднородность в пространственном распределении осадков связана с влиянием рельефа и особенностей ландшафта (наличие или отсутствие лесных массивов, водоемов, речных долин и т.д.), а также особенностями расположения метеорологических станций (близость к крупным населенным пунктам, степень закрытости метеорологических площадок и др.) и, следовательно, относиться к области мезоклиматических различий.

В центральной части Среднего Поволжья, где располагаются три субъекта РФ Республика Мари-Эл, Республика Чувашия и Татарстан, количество осадков по сравнению с северной частью существенно меньше. Так средние годовые суммы атмосферных осадков составляют на указанных территориях соответственно 520 мм, 510 мм и 505 мм, т.е. в среднем также убывают с северо-запада на юго-восток. В районе Казань — Лаишево количество годовых осадков несколько повышается до значений 550–560 мм. Некоторое увеличение годовых сумм осадков (до 530 мм), в основном под влиянием рельефа Бугульминско-Белебеевской возвышенности, наблюдается на крайнем юго-востоке центральной части Среднего Поволжья.

Далее на юг суммы осадков продолжают убывать. В Ульяновской и Самарской областях среднее годовое количество составляет 500 мм. Однако в этой южной части СП пространственное распределение сумм осадков наиболее неоднородно, что связано с наличием Приволжской возвышенности на западе, широкой долины Волги и Куйбышевского водохранилища в центральной части и Бугульминско-Белебеевской возвышенности на северо-востоке. Кроме того, пространственное разнообразие сумм осадков в этой части региона связано с наличи-

ем обширных лесных массивов соседствующих с безлесными участками. В результате сформировались две области относительно высоких значений сумм осадков. Первая в районе Самара — Тольятти — Дмитровград (средняя годовая сумма осадков более 550 мм). Вторая на северо-востоке в районе Клявлино — Бугульма, где под влиянием возвышенности средняя годовая сумма осадков превышает 600 мм. Минимальные же значения годовых сумм осадков наблюдаются на возвышенном правом берегу Волги (Канадей Ульяновской области — 430 мм) и в степной юго-восточной части Самарской области (Зерносовхоз Авангард — менее 390 мм).

Сравнение пространственного распределения по региону Среднего Поволжья годовых сумм осадков (рис. 8.1) с распределением по территории сумм осадков холодного (рис. 8.2) и теплого (рис. 8.3) периодов показывает практически полное сходство полей годовых осадков и осадков холодного периода. Таким образом, несмотря на то, что количество осадков теплого периода более чем в два раза превосходит количество осадков холодного, пространственная изменчивость годовых сумм осадков в основном определяется именно осадками холодного периода, когда они выпадают преимущественно в виде снега, который в наиболее холодную часть периода активно переносится ветром.

В теплый период распределение осадков, как уже указывалось, имеет примерно зональный характер: с 440 мм (на севере Кировской области) количество осадков уменьшается до 260 мм на юго-востоке Самарской (рис. 8.3). Локальные максимумы, как и в холодное время года, отмечаются южнее Кирова, в районе Можги и Казани. Однако наиболее выраженным максимумом является очаг в районе Бугульмы (380 мм), где существенно сказывается влияние Бугульминско-Белебеевской возвышенности, выражающееся в увеличении частоты и интенсивности конвективных явлений и, следовательно, ливневых осадков.

8.2. Временная изменчивость количества осадков

Временная изменчивость, характеризующаяся значением среднего квадратического отклонения (σ), также как и средние месячные сум-

Средние квадратические отклонения месячных, сезонных и годовых сумм атмосферных осадков (мм)

Станция	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Год	Тепл	Хол	Г.г.
Лалек	14	19	12	20	22	41	36	35	23	23	19	19	90	39	73	95
Кирс	16	13	18	20	31	43	36	30	26	27	23	16	76	42	66	71
Шабалино	15	12	12	19	29	37	45	35	25	32	19	14	104	37	94	102
Киров	18	15	17	20	28	43	43	32	28	33	27	19	89	44	74	82
Яранск	15	13	14	18	26	43	35	29	32	41	20	13	91	32	79	85
Кильмезь	11	10	13	19	18	31	44	30	31	28	18	14	81	30	65	73
Глазов	14	10	14	21	21	33	46	31	29	27	19	15	74	29	72	72
Ижевск	16	16	15	16	27	31	35	40	31	26	19	17	95	50	83	94
Морки	16	14	14	19	23	36	39	32	25	26	19	14	98	35	85	96
Чебоксары	14	17	11	18	26	47	38	36	32	30	19	12	98	34	91	98
Алатырь	15	17	13	21	24	34	33	31	29	24	17	14	102	38	88	99
Казань	16	20	15	17	26	43	29	33	28	28	21	14	97	41	80	96
Елабуга	18	16	13	20	28	28	36	39	37	26	22	18	105	42	87	97
Чистополь	16	15	14	20	26	30	36	32	30	24	17	17	87	40	72	85
Чуланово	17	16	12	20	23	35	32	34	27	24	19	18	81	44	71	85
Бугульма	20	16	11	15	35	38	38	37	38	28	21	16	105	42	95	106
Ульяновск	14	13	12	20	22	32	52	24	36	19	15	13	105	36	93	108
Канадей	12	13	11	18	25	24	41	30	29	21	15	12	84	32	81	89
Серноводск	14	18	12	18	23	29	39	25	31	25	21	17	94	44	78	93
Самара	20	24	17	28	25	33	34	32	29	29	31	27	109	62	92	108
Авангард	13	12	14	20	29	29	30	24	24	21	21	14	85	41	67	87

мы осадков, имеет хорошо выраженный годовой ход, с минимумом в феврале – марте от 10 мм на ст. Кильмезь и Глазов до 17 мм в Самаре и максимумом в июне – августе от 30 мм на ст. Зерносовхоз Авангард до 52 мм в Ульяновске (табл. 8.2).

Однако для количества атмосферных осадков, величины принимающей только положительные значения, более полно характеризует временную изменчивость коэффициент вариации, поскольку он представляет собой отношение σ к среднему значению выраженное в процентах. В среднем для региона коэффициент вариации сумм осадков в течение года меняется от минимума в декабре (%) до максимума в апреле (%) (табл. 8.3).

По территории Среднего Поволжья значения коэффициента вариации распределяются различно в зависимости от сезона. В среднем за год наименьшая изменчивость сумм осадков (значения коэффициента вариации не превышают 16%) наблюдается на севере региона (Кировская область и север Удмуртии), наибольшая – на юге (коэффициент вариации больше 22%).

В холодный период года (ноябрь – март) минимальные значения коэффициента вариации (меньше 22%), т.е. наименьшая изменчивость осадков, наблюдается на севере Среднего Поволжья. Другая область минимальных значений коэффициента вариации располагается вдоль Волги от Чебоксар до устья Камы (рис. 8.4). Максимальная же изменчивость осадков холодного периода характерна для южной половины и востока региона. Здесь в поле значений коэффициента вариации видны три основные области максимальных значений. Одна на крайнем юго-востоке, другая в районе Ижевска. Юг Татарстана и северную часть Ульяновской и Самарской областей занимает третья, широкая полоса повышенных значений коэффициента вариации. Во всех этих областях значения коэффициента вариации превышают 28%.

В теплый период (апрель–октябрь), как и в холодный период, осадки наименее изменчивы на крайнем севере региона. К югу изменчивость осадков возрастает (значения коэффициента вариации растут от 16 до 22%) причем поле коэффициента вариации формирует ложбину, ориентированную с севера на центральную часть региона (ст. Чулпаново РТ). Наибольшая изменчивость атмосферных осадков в этот

Коэффициенты вариации месячных, сезонных и годовых сумм атмосферных осадков (%)

Станция	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Год	Тепл	Хол	Г.г.
Лалыск	34	59	42	54	44	62	46	51	41	39	37	41	15	19	18	15
Кирс	40	46	58	58	54	55	49	44	42	42	44	38	12	22	15	11
Шабалино	45	50	52	58	54	51	62	53	42	53	43	37	18	23	22	18
Киров	41	45	53	58	51	64	57	45	43	51	47	39	14	20	17	13
Яранск	45	49	56	56	57	63	52	47	51	65	46	36	16	20	20	15
Кильмезь	37	46	55	57	45	48	56	43	51	49	40	45	15	20	16	13
Глазов	41	42	57	65	46	44	63	51	46	43	44	44	13	18	17	13
Ижевск	49	62	66	55	63	51	55	64	58	47	45	53	18	32	22	18
Морки	49	53	55	57	57	59	57	56	50	53	46	40	19	22	24	19
Чебоксары	46	66	48	53	62	68	59	60	55	52	45	35	18	22	24	18
Алатырь	50	67	56	68	66	59	52	62	60	53	42	40	21	24	27	20
Казань	43	60	54	52	67	64	43	56	55	51	45	37	18	23	22	18
Елабуга	48	54	58	65	62	49	55	65	62	45	48	45	19	24	23	18
Чистополь	50	59	65	67	64	51	63	56	57	45	41	53	17	27	21	17
Чуланово	55	64	59	67	62	49	61	64	55	46	50	56	17	30	21	17
Бугульма	67	68	58	59	79	52	56	65	65	49	52	53	20	30	25	20
Ульяновск	48	58	63	67	59	49	79	50	69	44	47	47	22	27	27	23
Канадей	46	63	58	62	71	41	70	65	69	58	51	48	20	27	26	21
Серноводск	41	66	57	68	74	49	79	59	69	54	54	47	21	28	26	20
Самара	41	60	55	75	71	57	59	66	67	54	60	53	20	28	27	19
Авангард	53	60	70	79	90	55	74	72	68	56	64	49	22	32	26	22

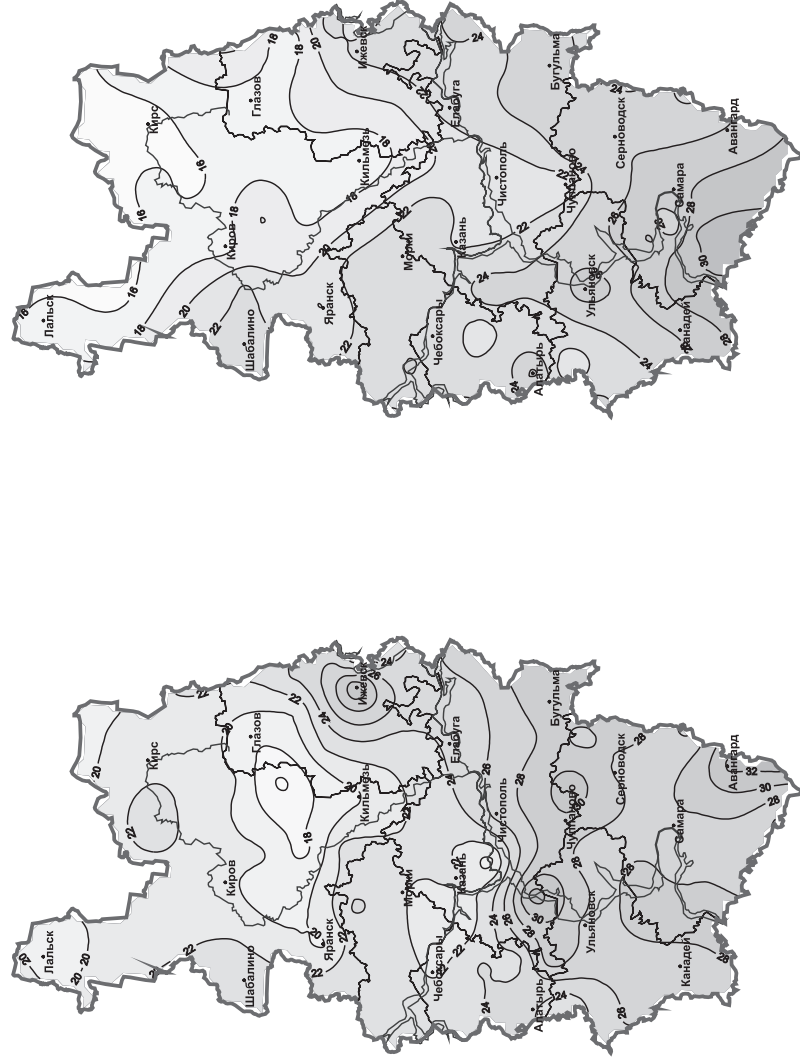


Рис. 8.4. Коэффициент вариации количества осадков (%) холодного (слева) и теплого (справа) периодов

период наблюдается на крайнем юге региона (ст. Безенчук Самарской области). Отсюда коэффициент вариации убывает от значения 30% до 22% на северо-запад в направлении ст. Шабалино Кировской области и северо-восток на Ижевск (рис. 8.4).

Таким образом, в силу большей изменчивости осадков теплого периода, в основном они формируют картину изменчивости годовых сумм атмосферных осадков Среднего Поволжья.

Климат постоянно меняется, но если современное глобальное потепление климата у большинства исследователей не вызывает сомнений, то изменение режима осадков далеко не так однозначно. В рамках данной работы предпринята попытка исследования динамики режима осадков на территории Среднего Поволжья. Для этого выбраны ряды сумм осадков за теплый, холодный периоды, а также календарный и гидрологический год с 1966 по 2004 годы. В этот период на всех станциях территории измерение количества осадков производилось с помощью осадкомера с защитой Третьякова. Таким образом, хотя бы с этой стороны ряды осадков не имеют неоднородности. При проведении анализа полученных результатов предпочтение гидрологическому году перед годом календарным было отдано связи с тем, что осреднение по периоду от ноября до октября является более естественным, так как в этом случае сохраняется целостность обоих экстремальных сезонов летнего и зимнего.

Для выявления долгопериодных изменений ряды сумм осадков 68 станций региона были подвергнуты тренд-анализу и низкочастотной фильтрации фильтром Поттера (Отнес, Эноксон, 1982) с периодом пропуска 20 и более лет. Использование фильтра Поттера с указанным периодом пропуска колебаний мотивировались тем, что фильтр Поттера не искажает фазы колебаний. Кроме того, ординаты сглаженного ряда в этом случае максимально близки к ординатам, полученным широко используемым в климатологии методом скользящих средних с интервалом осреднения 15 лет, а сглаживание фильтром Поттера по сравнению с равновесным скользящим средним существенно лучше (рис. 8.5).

По количеству выпадающих атмосферных осадков и особенностям динамики их изменения в течение исследуемого периода территория Среднего Поволжья может быть поделена на три района: северный,

включающий в себя Кировскую область и Удмуртию; центр – Республика Марий-Эл, Чувашия и Татарстан; южный – Ульяновская и Самарская области. Осредненные по всему региону и отдельным характерным районам суммы осадков подвергались низкочастотной фильтрации.

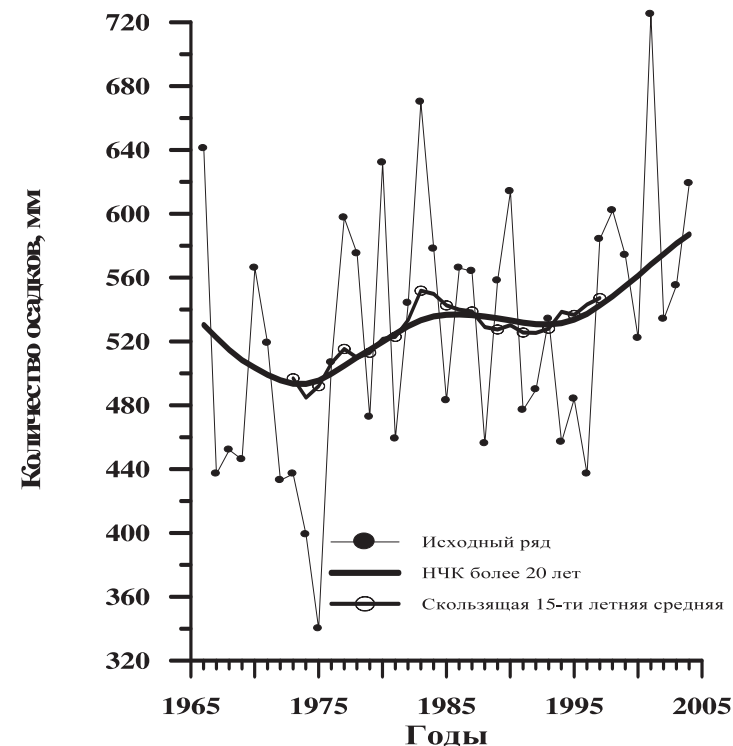


Рис. 8.5. Многолетний ход исходных и сглаженных фильтром Поттера и скользящим осреднением значений годовых сумм осадков на ст. Уржум

Анализ временного хода низкочастотной компоненты (НК) сумм осадков, включающей в себя колебания с периодом более 20 лет, позволяет лучше понять физические причины формирования пространственно-временных неоднородностей распределения сумм осадков за последние десятилетия.

Кривые на рис. 8.6 имеют волновой (циклический) характер особенно в теплый период. В целом за исследуемый период осадки теплого периода со временем увеличивались, убывая с севера на юг. Однако в холодный период, начиная с середины 70-х гг., рост количества осадков в южной части Среднего Поволжья стал существенно больше, чем в центральной части, что можно объяснить только перестройкой атмосферной циркуляции.

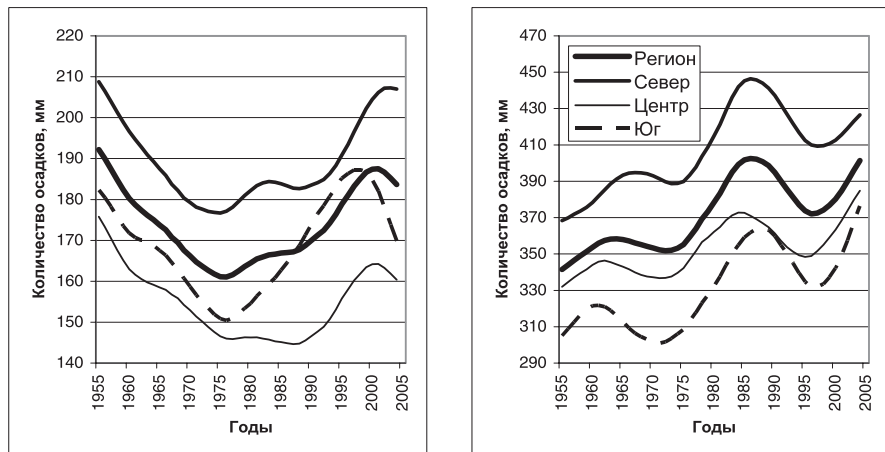


Рис. 8.6. Динамика НЧК (> 20 лет) сумм осадков (мм) холодного (слева) и теплого (справа) периода в Среднем Поволжье и его частях

Кроме того, временной ход осадков (1966–2004 гг.) в холодный период на территории СП более сложен, чем в теплый. В частности выделяется минимум 70–80-х годов XX века, после которого до конца века количество осадков росло. В холодный период зафиксирована также наибольшая скорость потепления в южной части СП.

Учитывая то обстоятельство, что вариации синоптических процессов способны вызвать вариации климатических характеристик, был выполнен комплексный анализ полей атмосферного давления, облачности, зональной и меридиональной скорости ветра в средней тропосфере на территории региона для холодного периода 1965–2005 гг. Выявилось, что юг СП более часто находился под влиянием циклонов юго-западного направления, чем его центральная часть с

Таблица 8.6

Вероятностные характеристики месячных, сезонных и годовых сумм осадков на ст. Киров

P, %	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	I – XII	IV – X	XI – III	XI – X
2	79	75	71	96	153	181	241	125	121	187	128	90	795	564	329	766
4	74	59	62	78	127	167	146	123	114	120	126	84	783	558	275	757
7	72	57	60	67	95	153	136	120	104	116	118	80	771	550	273	749
9	69	56	59	65	83	125	136	117	97	109	110	76	760	519	271	747
12	69	53	55	62	82	124	120	110	94	98	87	75	760	518	270	746
14	68	50	50	61	75	107	115	108	93	92	81	73	749	515	266	745
17	65	48	45	56	75	98	108	107	89	88	79	68	746	514	260	743
20	61	46	44	53	72	98	105	101	89	84	78	68	746	513	251	733
22	59	44	44	48	72	97	101	100	88	81	75	62	746	485	249	706
25	58	41	42	47	72	89	97	98	88	81	69	62	737	472	243	705
27	57	39	41	46	71	85	96	94	81	78	68	62	713	471	240	704
30	56	39	40	45	68	84	94	89	81	77	67	61	705	471	240	699
32	55	38	40	40	65	81	90	89	76	74	67	61	694	470	239	696
35	54	37	38	37	65	78	86	86	75	73	61	60	688	465	234	694
37	52	36	36	35	59	75	86	81	75	72	60	58	678	458	233	692
40	51	35	31	33	57	73	76	81	74	70	58	55	677	454	229	679
42	50	33	31	33	51	70	72	79	73	69	57	52	672	452	229	677
45	49	33	30	31	50	64	72	78	71	67	55	52	672	448	222	676
47	47	33	30	31	49	63	72	77	70	60	53	52	669	445	220	657
50	44	32	30	30	49	62	70	72	68	60	51	51	648	437	219	654

P, %	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	I – XII	IV – X	XI – III	XI – X
53	42	29	29	30	49	62	70	71	68	58	50	50	646	433	216	641
55	38	29	27	29	47	57	67	67	66	58	49	49	641	433	214	640
58	38	28	27	28	45	49	66	64	65	54	48	47	630	433	208	638
60	36	27	24	28	44	46	63	63	64	52	48	45	618	424	207	632
63	36	25	22	24	40	45	61	59	63	50	46	41	617	419	206	630
65	35	25	22	23	40	40	58	59	60	48	46	40	615	412	204	628
68	34	23	21	23	40	39	56	55	54	48	44	40	605	411	199	628
70	30	23	20	22	39	39	51	50	50	46	43	36	605	406	195	605
73	29	23	19	21	39	35	51	48	47	44	42	33	589	405	193	604
75	29	22	18	21	38	33	47	44	37	42	40	32	589	376	186	604
78	28	21	18	21	35	30	44	40	32	42	39	29	582	375	180	603
80	25	21	18	19	34	27	39	39	32	42	35	29	568	365	179	601
83	25	20	17	17	33	26	36	39	29	40	34	29	547	363	173	582
86	24	19	15	15	25	24	35	38	29	38	34	29	545	349	167	570
88	22	18	10	13	24	24	29	37	26	35	33	27	544	338	165	569
91	21	17	9	12	23	24	22	37	23	30	30	26	534	328	152	554
93	19	16	8	11	21	18	19	23	22	28	28	22	529	312	152	516
96	16	11	6	9	18	14	17	7	15	14	18	20	495	305	143	482
98	11	2	5	9	18	0	13	0	11	3	12	9	415	231	107	383

более повышенным фоном давления. Это привело к более интенсивному росту температуры воздуха и количества выпадающих атмосферных осадков.

Приведем также сведения о некоторых вероятностных характеристиках сумм осадков на территории Среднего Поволжья, а именно о месячном, сезонном и годовом количестве осадков различной обеспеченности. Под обеспеченностью понимается вероятность выпадения количества осадков выше определенного предела. Например, если в Кирове годовая сумма осадков обеспеченностью 20% составляет 746 мм, это значит, что в среднем один раз в 5 лет за год выпадает 746 мм и более осадков (табл. 8.6).

Рассчитывается обеспеченность по рядам месячных сумм осадков ранжированным в убывающем порядке. Таким образом, наибольшая величина оказывается в начале ряда, а наименьшая – в конце. Далее каждый член нумеруется и рассчитывается его суммарная вероятность (обеспеченность) по формуле:

$$P = \frac{(m-0,3)}{(n+0,4)} \cdot 100\%, \quad (8.1)$$

где P – обеспеченность члена ряда в %, m – порядковый номер члена ряда, n – общее число лет наблюдений.

8.3. Характеристика засушливости и суровости климата

Большой не только научный, но и практический интерес представляет оценка засушливости и увлажненности летнего (июнь – август) периода, а также суровости и мягкости зимнего (декабрь – февраль). С этой целью по данным всех метеорологических станций исследуемого региона были рассчитаны индексы Д.А. Педея (1975) по следующим формулам:

$$S_{S_i} = \frac{\Delta T_i}{\sigma_T} - \frac{\Delta Q_i}{\sigma_Q}, \quad S_{W_i} = \frac{\Delta T_i}{\sigma_T} + \frac{\Delta Q_i}{\sigma_Q}, \quad (8.2)$$

где S_S – летний индекс Педея, S_W – зимний индекс Педея, ΔT – аномалия температуры воздуха, ΔQ – аномалия количества осадков, σ_T и σ_Q – средние квадратические отклонения T и Q в пункте i .

Условия атмосферной засухи характеризуются значениями $S_s \geq 2$, при $S_s \leq -2$, наблюдается избыточное увлажнение. Промежуточными значениями S_s характеризуются нормальные условия или условия слабой аномальности. Зимой если $S_w > 2$, то зима считается мягкой (теплой и многоснежной), если $S_w < -2$, то — суровой (холодной и малоснежной).

В период с 1966 г. до настоящего времени в Среднем Поволжье засушливыми были летние сезоны 1972, 1975, 1981, 1988 и 1995 гг., а далее до катастрофической засухи 2010 г. таких явлений не наблюдалось. Суровые и малоснежные зимы наблюдались в регионе в 1967, 1969, 1972, 1977 гг. Далее в Среднем Поволжье лишь два зимних сезона 1996 и 2003 гг. были суровыми.

Подобно рядам осадков, полученные вышеуказанным способом ряды индексов Педя, подвергались низкочастотной фильтрации. Анализ долгопериодной компоненты летнего индекса показывает, что засушливость региона в последние десятилетия практически не имеет выраженного тренда при незначительных колебаниях. Так и в целом по региону и в его наиболее засушливой южной части самым засушливым был период второй половины 60-х и 70-е годы XX столетия. В конце исследуемого периода некоторое увеличение летних осадков компенсирует негативный эффект роста летних температур и засушливость возрастает незначительно.

Долгопериодная динамика зимнего индекса Педя однозначно указывает на увеличение повторяемости мягких зим вследствие роста зимних температур и увеличения количества осадков. С начала 70-х годов и до конца периода индекс растет лишь с небольшим ослаблением в 80-е годы.

9. Климатические ресурсы и их оценка

В последние годы в связи с происходящим беспрецедентным глобальным потеплением климата усилился интерес к изменениям климатических условий и характеристик как на планете в целом, так и в отдельных регионах. Важное значение приобретает также проблема оценки меняющихся климатических ресурсов.

Учитывая важное научное и практическое значение изучения современных климатических изменений, Всемирная метеорологическая организация (ВМО) в 1980 г. учредила Всемирную программу исследований климата (ВПИК), в рамках которой и по настоящее время проводятся исследования во многих странах мира, включая Россию. Пользуются известностью также Международная программа исследований геосферы и биосферы, Международная программа исследования роли человека в глобальном изменении окружающей среды и др.

В результате этой активной деятельности подготовлен и опубликован ряд важных обобщающих материалов, проведен ряд международных научных форумов по проблемам изменений климата.

Так, в России сотрудниками ГГО им. А.И. Воейкова под руководством проф. Н.В. Кобышевой подготовлены и изданы фундаментальные монографии «Климат России» (2001), «Энциклопедия климатических ресурсов ...» (2005) и «Руководство ...» (2008). В Беларуси под общей редакцией акад. В.Ф. Логинова опубликована монография «Изменения климата Беларуси и их последствия» (2003). Появились также климатические описания субъектов РФ (Справочник ..., 2005).

Учитывая важность проблемы, Росгидромет по инициативе А.И. Бедрицкого выпустил сборник материалов «Результаты исследований изменений климата для стратегии устойчивого развития Российской Федерации» (2005), в котором представлен комплексный анализ не только современных климатических изменений, но и стра-

тегический прогноз изменений климата РФ на период до 2010–2015 гг. и их влияния на отрасли экономики России.

Согласно определению Н.Ф. Реймерса (1990), к природным ресурсам относят «природные объекты и явления, используемые в настоящем, прошлом и будущем для прямого и непрямого потребления, способствующие созданию материальных богатств, воспроизводству трудовых ресурсов, поддержанию условий существования человечества и повышающие качество жизни».

Хорошо известна зависимость экономики от природных ресурсов, и в частности — климатических. В (Кобышева, Священников, 2005) рассматривается понятие «климатические ресурсы», новый подход к их оценке в условных единицах.

В фундаментальной работе (Хандожко, 2005) предложен ресурсный подход к изучению климата, что позволяет учитывать климатический фактор в различных областях социально-экономической деятельности. По определению Н.В. Кобышевой и О.Б. Ильиной (2001), «климатическими ресурсами называются запасы вещества, энергии и информации в климатической системе (прежде всего атмосфере), которые используются или могут быть использованы для решения конкретной задачи в экономике или социальной сфере». При этом климатические ресурсы подразделяются на положительные и отрицательные. Так, ресурсы тепла, света, влаги, ветра и т.д. используются при выработке электроэнергии с помощью ветроэнергетических станций и гелиоустановок в сельскохозяйственном производстве и т.д. Отрицательные ресурсы климата возникают тогда, когда приходится защищаться от тех или иных особенностей климата: возводить ограждающие конструкции, отапливать помещения, устанавливать ветро-, снего- и солнцезащиту, учитывать в расчетах конструкции климатические нагрузки. Правильный учет климата позволяет сделать эту защиту более рациональной и экономичной, избежать лишних затрат, в связи с чем отрицательные ресурсы климата убывают.

Климатические ресурсы обладают следующими свойствами (Хандожко, 2005): ограниченностью (изменчивостью климатических характеристик), ценой (денежной оценкой климатической продукции — информации) и реализацией, т.е. практическим результативным использованием в конкретной области экономики.

Климатические ресурсы делятся на группы по отраслевому признаку: агроклиматические, энергоклиматические, ресурсы для строительства и др. Используется также и территориальный признак: региональные климатические ресурсы, местные, локальные, микроклиматические.

Климатические ресурсы входят в комплексную оценку природных ресурсов страны. Общим показателем климатических ресурсов является климатический потенциал.

Н.В. Кобышева и О.Б. Ильина (2001) определили специализированные показатели основных групп климатических ресурсов для отдельных отраслей производства и человека (табл. 9.1).

Таблица 9.1

Специализированные показатели основных групп климатических ресурсов для технических систем и человека

Группа	Подгруппа (разновидность)	Специализированные показатели
Энергетический комплекс	Ветроэнергетическая	Средний куб скорости ветра, повторяемость энергетических затиший и ветров разрушительной силы
	Гелиоэнергетическая	Суммы прямой и суммарной солнечной радиации на горизонтальную поверхность
	Гидроэнергетическая (ГЭС)	Месячная сумма осадков, повторяемость периодов без осадков или с осадками менее 5 мм
	Тепловая энергетика (ТЭС)	Квантили температуры воздуха и энтальпии
	Атомная энергетика (АЭС)	Температура воздуха и скорости ветра, возможные раз в 10 тыс. лет повторяемость смерчей
	Передача энергии	Среднее число дней с обледенением гололедного станка за год, квантиль максимальной скорости ветра
Строительство	Тепловой режим зданий	Среднее число градусо-дней, температура наиболее холодной пятидневки (обеспеченностью 0,92), скорость ветра (обеспеченностью 0,80), сумма суммарной солнечной радиации за год, приходящая на вертикальную поверхность при средних условиях облачности, или дефицит тепла (восточная стена) при учете всей приходящей радиации

Окончание табл. 9.1

Группа	Подгруппа (разновидность)	Специализированные показатели
	Нагрузки и воздействия	Расчетные значения скорости ветра, гололедно-изморозевые отложения, вес снежного покрова, возможные раз в 20 лет
	Водоснабжение и канализация	Средняя интенсивность осадков за 20 мин., среднее число дождей за год, средняя интенсивность снеготаяния, сумма осадков за год, глубина промерзания почвы
	Производство строительных работ	Число дней со скоростью ветра > 10 м/с при отрицательной температуре воздуха, число дней со скоростью ветра ≥ 12 и ≥ 15 м/с
Сухопутный транспорт	Автомобильный транспорт	Повторяемость гололедицы на дорогах, опасных явлений погоды
	Железнодорожный транспорт	Повторяемость опасных явлений погоды, средний прирост снежного покрова за сутки
	Магистральный трубопровод	Наибольшая декадная высота снежного покрова за год, максимальная глубина промерзания почвы и протаивания слоя вечной мерзлоты
Коммунальное хозяйство	Отопление	Продолжительность и средняя температура отопительного периода, сумма суммарной солнечной радиации на вертикальную поверхность за год при средних условиях облачности с учетом застройки
	Снего- и водоборьба	Средняя интенсивность снеготаяния осадков за 20 мин, максимальный и средний из максимальных суточных приростов высоты снежного покрова
	Функционирование производства и санитарно-технических предприятий	Среднее значение энтальпии теплого и холодного периода, максимальная температура воздуха

Для более полной характеристики климатических ресурсов вводятся понятия — потенциальные климатические ресурсы (ПКР) и региональные климатические ресурсы (РКР). ПКР содержат общие, известные климатические ресурсы, которые используются на практике. РКР — только часть потенциала, которая используется в конкретной области хозяйственной деятельности.

Все климатические характеристики (температура, ветер, осадки и т.п.), специализированные климатические показатели, комплексные климатические показатели (гидротермический коэффициент Селянинова, индекс суровости по Осокину, эквивалентно-эффективная температура по Русанову и др.) выражены в различных единицах измерения, что затрудняет их сопоставление.

Возникла необходимость выразить все климатические параметры в условных единицах. Исходные климатические ресурсы (температура, ветер, число градусо-дней, комплексные показатели и др.) переводятся в безразмерный вид: нормируются и переводятся в баллы.

Согласно Н.В. Кобышевой и О.Б. Ильиной (2001), положительные климатические ресурсы, отражающие благоприятные влияния климата, определяются по формуле

$$X_{пл} = 10 \frac{x - x_{мин}}{x_{макс} - x_{мин}}, \quad (9.1)$$

где x — значение климатической характеристики, показателя и др. в принятых единицах измерения (°С, мм/12ч, кДж, кг/м² и др.).

Для отрицательных климатических ресурсов, вызывающих неблагоприятные (ущербные) последствия в хозяйственной практике, используется формула

$$X_{от} = 10 - 10 \frac{x - x_{мин}}{x_{макс} - x_{мин}}. \quad (9.2)$$

За 10 баллов принимается абсолютное максимальное значение ресурсной характеристики:

а) при положительных ресурсах 10 баллов — максимальное значение, 0 баллов — минимальное;

б) при отрицательных ресурсах 10 баллов — минимальное значение, 0 баллов — максимальное.

Переведенные в баллы ресурсные характеристики суммируются по пункту или территории. Затем балльная оценка переводится в относительные значения (относительно суммы) и выражается в 1000 условных единиц. Тем самым устанавливаются условные климатические единицы (УКЕ):

$$УКЕ = \frac{\text{балл}}{\sum_{i=1}^n \text{балл}} \cdot 1000, \quad (9.3)$$

где n — общее число рассчитанных значений ресурсной характеристики в баллах.

Величина ПКР по территории (или пункту) устанавливается как сумма УКЕ по ряду i — x потребителей, отраслей, использующих климатическую информацию

$$ПКР = \sum_{i=1}^m (УКЕ)_i. \quad (9.4)$$

9.1. Агроклиматические ресурсы

Согласно (Хандожко, 2005), агроклиматические ресурсы оцениваются как климатические возможности, которые имеет какая-либо территория для получения сельскохозяйственной продукции, а формой представления агроклиматических ресурсов являются сведения о продуктивности культур в зависимости от климатических особенностей территории. Сравнительная оценка биологической продуктивности климата (агроклиматических ресурсов) выражается в абсолютных (урожайность в ц/га) или относительных (балл) величинах.

Совокупность метеорологических факторов, включая в первую очередь тепло и влагу, формирует агроклиматические ресурсы данной территории, определяющие условия производства и продуктивность сельскохозяйственных культур. Для вегетационного периода и его отдельных подпериодов наиболее часто рассчитываются и анализируются: 1) термические и световые ресурсы; 2) ресурсы увлажнения, включая осадки и влажность почвы; 3) условия перезимовки культур; 4) неблагоприятные (опасные и особо опасные) явления; 5) оценки биоклиматической продуктивности (Исаев, 2001; Справочник ... , 1988).

Для оценки потребностей растений в тепле, как правило, используется сумма активных температур (сумма температур за период со среднесуточными температурами выше 10°C).

Специалистами в области агрометеорологии рассчитаны суммы активных температур для всех культурных растений. Кроме того, учитываются экстремумы температур в различные периоды вегетации, статистики безморозного периода и др.

Важным условием для развития растений является влага, которая поступает к ним в виде атмосферных осадков и содержится в почве.

В агрометеорологии для характеристики условий увлажнения среды принято использовать комплексные характеристики, которые учитывают не только осадки, но и испарение. Наиболее известным из них является гидротермический коэффициент (ГТК) Селянинова:

$$ГТК = \Sigma R / 0,1 \Sigma t^{>10}, \quad (9.5)$$

где ΣR — сумма осадков, $\Sigma t^{>10}$ — сумма активных температур в период вегетации.

При $ГТК \leq 0,8$ возникает засуха, при $ГТК < 0,4$ — очень сильная засуха.

Индекс увлажнения $K_{\text{ув}}$, предложенный Д.Н. Шашко, определяется по формуле:

$$K_{\text{ув}} = \Sigma R / \Sigma d, \quad (9.6)$$

где ΣR — сумма осадков в мм, Σd — сумма дефицитов упругости водяного пара, выраженная в гПа.

Показатель увлажнения P_y по М.И. Будыко получен с учетом теплосбалансовых измерений:

$$P_y = \Sigma R / 0,18 \Sigma t^{\circ C}, \quad (9.7)$$

где ΣR и $\Sigma t^{\circ C}$ — соответственно, суммы осадков в мм и активных температур за год в °C.

Важное значение имеет понятие биоклиматической продуктивности растительного покрова, которая оценивается по формуле Д.И. Шашко:

$$H_{\text{бкп}} = K_{\text{бп}} \frac{\Sigma t^{>10}}{1000}, \quad (9.8)$$

где $K_{\text{бп}}$ — коэффициент биологической продуктивности растений, зависящий от показателя скорости испарения M_e , определяемой по формуле:

$$M_c = E_c / \Sigma d, \quad (9.9)$$

где F_c – суммарное испарение, Σd – сумма дефицитов влажности воздуха.

В табл. 9.2 представлена зависимость величины $K_{\text{бп}}$ от показателя скорости испарения M_c .

Таблица 9.2

Соотношения значений скорости испарения (M_c)
и коэффициента биологической продуктивности ($K_{\text{бп}}$)

M_c	0,1	0,15	0,20	0,25	0,30	0,35	0,40	0,45	0,50
$K_{\text{бп}}$	0,19	0,41	0,57	0,69	0,79	0,86	0,92	0,97	1,00

Биоклиматическая продуктивность культур характеризуется как пониженная при $H_{\text{бп}} < 1,5$; средняя – при $1,5–2,0$ и повышенная – при $H_{\text{бп}} > 2,0$.

Как известно, тепло и влага являются основными факторами продуктивности сельскохозяйственных культур. Так, влагообеспеченность территории является одним из важнейших факторов, характеризующих агрометеорологические (агроклиматические) условия возделывания, произрастания и формирования продуктивности сельскохозяйственных культур. Эта величина характеризуется исключительной изменчивостью во времени и пространстве, что в значительной мере обуславливает колебания агроклиматических ресурсов и всего сельскохозяйственного потенциала территории. Для оценки влагообеспеченности авторы (Зоидзе, Хомякова, 2006) предлагают использовать гидротермический коэффициент (ГТК) Селянинова, как наиболее оптимальный показатель.

Е.К. Зоидзе и Т.В. Хомякова (2006), обобщив многолетний опыт использования показателя ГТК в научных и практических задачах при оценке влагообеспеченности территории России и исследовании зависимости урожайности сельскохозяйственных культур от агроклиматических условий с учетом географической зоны, периода вегетации и т.д., предложили следующую школу классификации уровней влагообеспеченности по значениям ГТК (табл. 9.3).

Таблица 9.3

Характеристика влагообеспеченности по значениям ГТК

ГТК	> 1,5	1,41 – 1,50	1,10 – 1,40	0,76 – 1,00	0,61 – 0,75	0,40 – 0,60	0,20 – 0,39	< 0,20
Характеристика влагообеспеченности	Избыточная	Повышенная	Достаточная (оптимальная)	Недостаточная	Низкая (слабая засуха)	Очень низкая (средняя засуха)	Исключительно низкая (сильная засуха)	Катастрофическая низкая (очень сильная засуха)

В последние годы для описания условий тепло-, влагообеспеченности и оценки засух широко используется комплексный показатель S_i , предложенный Д.А. Педом (1975). Для расчета этого индекса атмосферного увлажнения (засушливости) используется формула

$$S_i = \frac{\Delta T}{\sigma_T} - \frac{\Delta P}{\sigma_P}, \quad (9.10)$$

где ΔT и ΔP – аномалии (отклонения от нормы) среднемесячных температур и количества осадков соответственно; σ_T и σ_P – их среднеквадратические отклонения.

Значение индекса S_i формируется под влиянием крупномасштабной атмосферной циркуляции и местных физико-географических условий. Принято считать, что при $S_i > 2$ формируется засуха; $1 < S_i \leq 2$ – засушливые условия; $-1 \leq S_i \leq 1$ – нормальные условия увлажнения; $-2 \leq S_i < -1$ – влажные условия; $S_i < -2$ – избыточное увлажнение. Для зимних условий: при $S_i > 2$ зима считается теплой и многоснежной, при $S_i < -2$ – зима холодная и малоснежная.

Между индексами ГТК и S_i существует тесная статистическая связь. В работе (Гуляева, Костюков, 2003) получена следующая приближенная формула этой связи:

$$ГТК = -\frac{\sigma_p}{3T} S_i + \frac{\bar{T}}{T} (\overline{ГТК} - 1) + 1, \quad (9.11)$$

где черта сверху обозначает норму. Соотношение является точным для месяцев со среднесуточной температурой $\geq 10^\circ\text{C}$.

По Селянинову, северная граница степной зоны на европейской территории России хорошо совпадает с изолинией ГТК = 1 за июнь – август, а северная граница пустыни – с изолинией ГТК = 0,5. Период считается засушливым, если ГТК < 1,0, и сухим, если ГТК < 0,5.

Солнечная радиация является источником энергии для всех земных живых организмов. Часть спектра солнечного света, непосредственно участвующую в фотосинтезе, называют фотосинтетически активной радиацией (ФАР). Величину ФАР обычно ограничивают пределами длин волн 0,38–0,71 мкм и рассчитывают по формуле:

$$\text{ФАР} = 0,43 S' + 0,57 D, \quad (9.12)$$

где S' – интенсивность прямой солнечной радиации на горизонтальную поверхность, D – интенсивность рассеянной солнечной радиации.

Солнечная постоянная составляет 1375 Вт/м², из них 420 Вт/м² приходится на диапазон ФАР. Примерно 85% ФАР поглощается растениями и менее 5% усваивается в процессе фотосинтеза.

Коэффициент полезного действия (КПД) фотосинтеза определяется как процент ФАР, утилизированный в общую первичную продукцию. Лесная растительность обладает максимальным КПД фотосинтеза (2,0–3,5%), КПД травянистых сообществ, включая сельскохозяйственные культуры, составляет около 1–2%, КПД фитопланктона не превышает 0,5%.

Для приближенного расчета ФАР используются также данные о суммарной радиации Q с коэффициентом 0,52 (Ильина, 2005): $\text{ФАР} = 0,52 Q$.

Биологическое действие различных длин волн радиации неодинаково. Ультрафиолетовые лучи замедляют ростовые процессы, но ускоряют прохождение этапов формирования у растений репродуктивных органов. Инфракрасные лучи, активно поглощаемые водой, находящейся в листьях и побегах растений, оказывают тепловое воздействие

и влияют на процессы роста и развития растений, инфракрасная радиация оказывает только тепловое воздействие. Решающее значение для жизнедеятельности растений имеет коротковолновая радиация в интервале $\lambda = 0,38 \dots 0,71$ мкм, называемая фотосинтетически активной радиацией (ФАР) (табл. 9.4).

Таблица 9.4

Биологическое значение участков спектра (по Ю.К. Россу и др.)

Вид радиации	Область спектра, мкм	Процент солнечной радиации	Эффект действия радиации на растения		
			тепловой	фотосинтез	рост и развитие
Ультра-фиолетовая	0,01 ... 0,39	0 ... 4	Несущественный	Несущественный	Существенный
ФАР	0,38 ... 0,71	21 ... 46	Существенный	Существенный	Существенный
Ближняя инфракрасная	0,76 ... 4,0	50 ... 79	Существенный	Несущественный	Существенный
Дальняя инфракрасная	> 4,0	—	Несущественный	Несущественный	Несущественный

Усвоение растениями энергии солнечной радиации происходит при помощи хлорофилла – зеленого пигмента, особенно обильного в листьях и однолетних побегах сельскохозяйственных культур.

При высоком стоянии Солнца на земную поверхность поступает максимум энергии в области желто-зеленого спектра лучей. Когда Солнце приближается к горизонту, максимальную энергию имеют дальние красные лучи, мало участвующие в процессе фотосинтеза растений. Рассеянная радиация более богата фотосинтетически активной радиацией, чем прямая (Грингоф, Пасечнюк, 2005).

Наиболее изученными являются агроклиматические и биоклиматические ресурсы, поскольку тепло, влага, свет определяют биопродуктивные возможности территории.

Влияние ресурсов тепла и соотношения тепла и влаги на биологическую продуктивность учитывает комплексный показатель Д.И. Шашко – биоклиматический потенциал (БКП):

$$БКП = K_{p(ку)} \frac{\sum t > 10^{\circ} C}{\sum t_{ak(баз)}}, \quad (9.13)$$

где $K_{p(ку)}$ — коэффициент роста по годовому показателю атмосферного увлажнения; — сумма значений температуры выше $10^{\circ}C$, выражающая теплообеспеченность растений в данном месте; — базисная сумма средних значений температуры воздуха за период активной вегетации, т.е. сумма, относительно которой проводится сравнительная оценка.

В качестве базисных используются разные суммы значений температуры: $1000^{\circ}C$ — для сравнения с продуктивностью на границе возможного массового полевого земледелия; $1900^{\circ}C$ — для сравнения со средней по стране продуктивностью, свойственной южно-таежно-лесной зоне; $3100^{\circ}C$ — для сравнения с продуктивностью в оптимальных условиях роста, характерных для предгорных лесостепных районов Краснодарского края.

Коэффициент роста (коэффициент биологической продуктивности) $K_{p(ку)}$ представляет собой отношение урожайности в данных условиях влагообеспеченности к максимальной урожайности в условиях оптимального увлажнения и рассчитывается по формуле

$$K_{p(ку)} = \lg(20K_{увл}), \quad (9.14)$$

где $K_{увл} = P / \Sigma d$ — коэффициент годового атмосферного увлажнения, равный отношению количества осадков к сумме средних суточных значений дефицита влажности воздуха. При значении $K_{увл} = 0,5$ создаются оптимальные условия для влагообеспеченности растений. В этих условиях $K_{p(ку)} = 1$.

В России средняя продуктивность культур широкого ареала (зерновых) соответствует значению $БКП = 1,9$, которое принято за эталон (100 баллов). Переход от $БКП$ к баллам осуществляется по формуле

$$B_k = K_{p(ку)} \frac{(\sum t > 10^{\circ} C) \cdot 100}{1900} = 55 БКП, \quad (9.15)$$

где B_k — климатический индекс биологической продуктивности, балл; 55 — коэффициент пропорциональности, определенный по связи средних значений $БКП$ и продуктивности зерновых при уровне агротехники госсортучастков.

Климатический индекс биологической продуктивности изменяется по территории России от 22 до 161 балла.

Одна из ведущих отраслей природопользования — лесное хозяйство (табл. 9.5).

Таблица 9.5

Диапазон изменения специализированных показателей
лесохозяйственных климатических ресурсов

Показатель	Единица измерения	Минимум	Максимум
Радиационный баланс	МДж/м ²	705	2292
Количество осадков	Мм	232	1300
Сумма активных температур ($> 10^{\circ}$)	$^{\circ}C$	300	3600
Продолжительность вегетации	дни	30	200
Показатель увлажнения	—	0,17	0,7
Индекс континентальности	—	95	272
Число дней с сильным ветром	дни	0,7	52,4
Пожароопасность	дни/мес	0	18
Число дней с низкой температурой воздуха ($< -30^{\circ}C$)	дни	0	30

Лес представляет из себя сложный природный организм, который выполняет три функции (Дежкин, 1997).

1. *Биосферная функция.* Синтез органического вещества, участие в биологическом круговороте вещества и энергии, продуцирование кислорода и поглощение углекислого газа, формирование почв, участие в регулировании водного стока, климатообразующие свойства, создание среды обитания для животных и микроорганизмов.

2. *Экономическая функция.* Продуцирование экономически значимых сырьевых продуктов — древесных, пищевых, лекарственно-технических и др.

3. *Социальная, социально-гигиеническая функция.* Укрепление здоровья человека, улучшение среды его обитания, предоставление возможностей рекреации, удовлетворение эстетических потребностей.

Конференция в Рио-де-Жанейро в 1992 г. приняла специальное заявление по проблеме лесов: «леса следует использовать таким об-

разом, чтобы удовлетворять социальные, экономические, экологические, культурные и духовные потребности современного и будущего поколений».

Леса являются основным аккумулятором биомассы (органики), в них содержится более 80% биомассы Земли. Выделяют сомкнутые леса и открытые леса: к первым относятся леса, чьи пологи перекрывают 20 или 40% и более территории, остальные относят к несомкнутым лесам. Сомкнутые леса занимают 25 млн. км², из которых 10 млн. км² занимают тропические леса. Примерно такую же площадь занимают разомкнутые леса. Наземная биомасса леса составляет 70–80%. Средняя чистая первичная продукция лесов составляет порядка 8–10 т/га год в пересчете на углерод, а глобальная — порядка 40 Гт/год. Листовой индекс лесов равен 8, т.е. испаряющая поверхность современного лесного полога суши близка к площади Мирового океана (Горшков, 1995).

9.2. Биоклиматические ресурсы

Биоклиматические ресурсы характеризуют связь климата с тепловым состоянием человека, его здоровья, особенностями реакции и санитарно-гигиенической оценкой в естественных условиях.

Согласно (Энциклопедия ... , 2005) на здоровье и самочувствие человека существенное влияние оказывают температура и влажность воздуха, солнечная радиация, атмосферное давление, скорость ветра, а также комплекс метеорологических величин, выраженных в виде эффективных температур, душных погод, индексов дискомфорта и т.д.

Выделены следующие составляющие биоклиматических ресурсов:

- рекреационно-климатические ресурсы;
- санитарно-гигиенические климатические ресурсы для градостроительства;
- физиолого-климатические ресурсы теплового состояния человека;
- лечебно-профилактические климатические ресурсы для основных видов заболеваний: сердечно-сосудистых, хронических неспецифических заболеваний органов дыхания, ревматических и простудных, туберкулеза, глазных.

К.Ш. Хайруллин и В.Н. Карпенко (2005) подготовили для энциклопедии климатических ресурсов Российской Федерации раздел «Лечебно-профилактические климатические ресурсы для основных видов заболеваний», в котором рассмотрены вопросы влияния климата и погоды на организм человека. Для удобства климатические характеристики, способные оказывать негативное воздействие на людей, представлены в табл. 9.6. и 9.7.

Таблица 9.6

**Диапазон изменения специализированных показателей
лечебно-профилактических климатических ресурсов для основных заболеваний**

Показатель	Единица измерения	Минимум	Максимум
Сердечно-сосудистые заболевания			
Число дней с межсуточной изменчивостью температуры воздуха $\geq 8^{\circ}\text{C}$	дни	2	42
Среднее квадратическое отклонение среднего суточного атмосферного давления на уровне станции	гПа	6,5	15,5
Число дней со средней суточной температурой воздуха $\geq 20^{\circ}\text{C}$	дни	0	102
Число дней со средней суточной температурой воздуха $\leq -25^{\circ}\text{C}$	дни	0	117
Число дней с относительной влажностью воздуха $\geq 80\%$	дни	22	193
Повторяемость скорости ветра $\geq 8 \text{ м/с}$	%	1	40
Заболевания органов дыхания			
Число дней с межсуточной изменчивостью температуры воздуха $\geq 8^{\circ}\text{C}$	дни	2	42
Среднее квадратическое отклонение среднего суточного атмосферного давления на уровне станции	гПа	6,5	15,5
Число дней со средней суточной температурой воздуха $\leq -25^{\circ}\text{C}$	дни	0	117
Повторяемость сочетаний температуры воздуха $\geq 20^{\circ}\text{C}$ и относительной влажности $\geq 80\%$	%	0	35
Повторяемость сочетаний температуры воздуха $\leq 0^{\circ}\text{C}$ и относительной влажности $\geq 80\%$	%	5	36
Повторяемость скорости ветра $\geq 8 \text{ м/с}$	%	1	40

Окончание табл. 9.6

Показатель	Единица измерения	Минимум	Максимум
Ревматические и простудные заболевания			
Число дней с переходом температуры воздуха через 0°C	дни	3	101
Число дней с относительной влажностью воздуха $\geq 80\%$	дни	22	193
Повторяемость скорости ветра ≥ 8 м/с	%	1	40
Число дней с жидкими и смешанными осадками	дни	22	130
Туберкулез			
Число дней с межсуточной изменчивостью температуры воздуха $\geq 8^\circ\text{C}$	дни	2	42
Повторяемость сочетаний температуры воздуха $\geq 20^\circ\text{C}$ и относительной влажности $\geq 80\%$	%	0	35
Повторяемость сочетаний температуры воздуха $\leq 0^\circ\text{C}$ и относительной влажности $\geq 80\%$	%	5	36
Повторяемость скорости ветра ≥ 8 м/с	%	1	40
Число дней с жидкими и смешанными осадками	дни	22	130
Глазные болезни			
Энергетическая освещенность солнечной радиации в летние месяцы в полуденные часы при средних условиях облачности	кВт/м ²	0,16	0,52
Число дней с межсуточной изменчивостью температуры воздуха $\geq 8^\circ\text{C}$	дни	2	42
Среднее квадратическое отклонение среднего суточного атмосферного давления на уровне станции	гПа	6,5	15,5

Для оценки суровости климата используется ряд биоклиматических показателей. В работе (Виноградова, 1997) для этой цели были выбраны индексы влажного охлаждения по Хиллу и сухого ветрового охлаждения по Бодману, т.к. они, как это показал корреляционный анализ, являются наиболее независимыми по сравнению с другими. Оценка их чувствительности к изменению входящих в них метеорологических величин показала, что они лучше других реагируют на изменения температуры воздуха и скорости ветра, особенно при отрицательных и близких к нулю температурах, что очень важно для характеристики суровости климата в зимнее время и переходные сезоны.

Таблица 9.7

Критерии основных биометеорологических характеристик

Характеристика	Критерий	Метеотропность	Примечание
Суммарная солнечная радиация, приходящая на тело человека, кВт/м ²	$\geq 0,6$	Перегрев	Лето: $t_b \geq 18^\circ\text{C}$
	0,2–0,25	Оптимум	
Интенсивность УФ радиации, эрг/(час · м ²)	0,008	Минимум, необходимый в сутки	УФ голодание при меньших значениях
	0,08	Оптимум	Эритемная доза
Температура воздуха, °C	17–23	Комфорт	В умеренных широтах
		Слабый дискомфорт	Перегрев в полярных районах летом
	24–26	Слабый перегрев	Перегрев связан с терморегуляцией организма
	27–29	Перегрев	
	≥ 30	Сильный перегрев	
Относительная влажность, %	≥ 80	Дискомфорт	Духота, возможен тепловой удар при $t_b \geq 30^\circ\text{C}$
	≤ 30	Дискомфорт	При $t_b \geq 18^\circ\text{C}$ сухость слизистых оболочек дыхательных путей
	40–70	Комфорт	При $t_b \leq 25^\circ\text{C}$
Давление водяного пара, гПа	$\geq 18,8$	Духота	Ухудшение самочувствия человека
Скорость ветра, м/с	1–3	Оптимум	
	≥ 6	Дискомфорт	Усиливает динамические нагрузки и обостряет ряд заболеваний
Межсуточные перепады атмосферного давления воздуха, гПа	≥ 10	Дискомфорт	Ухудшение самочувствия у больных людей
Температура воды для купания, °C	≥ 27	Очень теплая	Мало освежает
	≥ 20 –24	Оптимум	Показано всем
	17–19	Прохладная	Показано здоровым людям
	14–16	Холодная	Показано закаленным людям

Окончание табл. 9.7

Характеристика	Критерий	Метеотропность	Примечание
Эквивалентно-эффективные температуры (лето), °С	≥ 23	Дискомфорт	Перегрев
	17–21	Комфорт	Оптимум
	9–16	Дискомфорт	Незначительный холодовый дискомфорт
	≤ 8	Дискомфорт	Требуется теплая одежда
Приведенные (к штилю) температуры воздуха (зима), °С	0 ... -15	Относительный комфорт	При относительной влажности $\leq 70\%$
	-16 ... -28	Дискомфорт	Ограничено время для прогулок
	-29 ... -32	Значительный дискомфорт	Каждый час 15-минутные перерывы для обогрева
	-32 ... -41	Суровые условия	Сокращение рабочего дня
	≤ -42	Крайне суровые	Возможно обморожение. Рабочие дни активируются

Индекс влажного ветрового охлаждения по Хиллу рассчитывается по формуле:

$$H_w = H_d + (0,085 + 0,102v^{0,3})(61,1 - e)^{0,75}, \quad (9.16)$$

где $H_d = (0,13 + 0,47 v^{0,5})(36,6 - t)$; v – скорость ветра, $мс^{-1}$; t – температура воздуха, °С; e – влажность воздуха, гПа. Размерность H_w выражается в $мккал\ cм^{-2}\ c^{-1}$.

Биоклиматический индекс H_w характеризует интенсивность потери тепла материальным телом или человеческим организмом в воздушном потоке с определенными температурой и влажностью. При невысоких положительных, а также отрицательных температурах воздуха влажный ветровой поток усиливает дискомфортное состояние человеческого организма. При высоких положительных температурах воздействие влажного ветрового потока уменьшает состояние дискомфорта человека (Золотокрылин, 1992).

Для оценки суровости погоды, характерной в данной климатической зоне, используются индекс суровости погоды, индекс жесткости погоды и др. (Хандожко, 2005).

Индекс жесткости погоды учитывает совместное действие ветра и низкой температуры, определяющих условия, способствующие обморожению, и определяется по формуле Бодмана:

$$B = (1 - 0,04t)(1 + 0,272v), \quad (9.17)$$

где t – температура воздуха в °С, v – скорость ветра в м/сек.

Для характеристики суровости погоды используется следующая шкала (баллы):

- 1) $B < 1$ – зима несуровая;
- 2) $1 < B < 2$ – малосуровая;
- 3) $2 < B < 3$ – умеренно суровая;
- 4) $3 < B < 4$ – суровая;
- 5) $4 < B < 5$ – очень суровая;
- 6) $5 < B < 6$ – жестко суровая;
- 7) $B > 6$ – крайне суровая.

Климатическая оценка характеристик суровости должна использоваться при разработке нормативов регламента работы на открытом воздухе. В холодную часть года при морозной и ветреной погоде продолжительность работ на открытом воздухе сокращается или вовсе приостанавливается.

Индекс патогенности метеорологической ситуации I , предложенный В.Г. Бокшей (1980) используется для оценки степени раздражающего действия изменений погоды на организм (Андреев, 2007). Этот индекс представляет собой сумму индексов патогенности разных метеорологических величин

$$I = I_t + I_h + I_v + I_n + I_{\Delta t} + I_{\Delta t}, \quad (9.18)$$

где I_t – индекс патогенности температуры воздуха; $I_t = 0,02(18 - t)^2$ при $t < 18^\circ\text{C}$ и $I_t = 0,02(t - 18)^2$ при $t > 18^\circ\text{C}$; t – среднесуточная температура, °С; $I_{\Delta t}$ – индекс патогенности межсуточного изменения температуры Δt ; I_h – индекс патогенности влажности воздуха; h – среднесуточная относительная влажность (%); I_v – индекс патогенности ветра; v – среднесуточная скорость ветра (м/с); I_n – индекс патогенности продолжительности солнечного сияния; $n = 10 - 10S_\phi / S_{\max}$; S_{\max} и

S_{ϕ} — соответственно максимально возможная и фактическая продолжительность солнечного сияния (4); $I_{\Delta p}$ — индекс патогенности межсуточного изменения атмосферного давления Δp .

В.Г. Бокша предложил следующую рабочую формулу для расчета индекса патогенности метеорологической ситуации (баллы):

$$I = 10^{\frac{h-70}{20}} + 0,2v^2 + 0,06n^2 + 0,06(\Delta p)^2 + 0,3(\Delta t)^2 + I_{\phi}. \quad (9.19)$$

Ряд исследователей пришли к выводу о том, что комфортные условия, при которых возникает минимум метеопатических реакций, определяются следующими значениями метеорологических величин: температурой воздуха 18°C, относительной влажностью 50%, скоростью ветра 0 м/с, облачностью 0 баллов, межсуточными изменениями температуры и давления, равными нулю.

В.Г. Бокша приводит следующие три градации индекса патогенности метеорологической ситуации:

I	0–9	10–24	> 24
Условия погоды	Оптимальные (комфортные)	Раздражающие	Острые

Авторами (Хрусталева и др., 2002) диапазон раздражающих погодных условий поделен на три поддиапазона:

I	0–9,9	10–16	16,1–18	18,1–24	> 24
Условия погоды	Оптимальные (комфортные)	Слабо раздражающие	Умеренно раздражающие	Сильно раздражающие	Острые

9.3. Биоклиматические индексы

В Российском государственном гидрометеорологическом университете Е.Г. Головиной и М.А. Трубиной разработана классификация биоклиматических индексов, являющихся косвенными индикаторами оценки состояния окружающей человека среды, оказывающей непосредственное влияние на его теплоощущения. Приведем перечень

биометеорологических показателей — индексов, сгруппированных по направлениям (Андреев, Андреева, 2004; Андреев, 2007).

1. Температурно-влажностные показатели:

ЭТ — эффективная температура неподвижного воздуха;

DI — индекс дискомфорта (США);

DY — индекс дискомфорта (Япония).

2. Температурно-ветровые показатели (индексы холодного стресса):

W (K) — ветро-холодовой индекс (по Сайплу);

WC — уточненный ветро-холодовой индекс (Канада);

S — балл суровости (по Бодману);

T — коэффициент жесткости погоды (по Арнольди);

H — индекс ветрового охлаждения (по Хиллу);

S_o — коэффициент жесткости погоды (по Осокину);

ЭШТ — эквивалентно-штилевая температура.

3. Температурно-влажностно-ветровые показатели (для теневых пространств):

ЕТ — эквивалентно-эффективная температура (показатель тепловой чувствительности с учетом влияния ветра);

ЭЭТ — эквивалентно-эффективная температура;

НЭЭТ — нормальная эквивалентно-эффективная температура (показатель тепловой чувствительности с учетом влияния ветра для одетого человека);

4. Температурно-влажностно-ветровые показатели (с учетом солнечной радиации):

РЭЭТ — радиационная эквивалентная температура;

БАТ — биологическая активная температура;

$T_{пр}$ — индекс приведенной температуры (по Адаменко и Хайруллину);

Q_s — сальдо теплового баланса тела человека (по Русанову);

C — теплоизоляция одежды, ед. кло;

КТ — коэффициент дискомфорта климата (по Русанову).

5. Индексы патогенности и изменчивости климата:

I — индекс патогенности метеорологической ситуации (по Бокше)

ρ_{O_2} — парциальная плотность кислорода (по Овчаровой);

КПМ — класс погоды момента (по Русанову);

K — индекс изменчивости КПМ (по Русанову);

БИСМ – индекс суровости метеорежима (по Белкину);
 МИЗ – метеорологический индекс здоровья (по Богаткину);
 G – показатель напряженности механизмов терморегуляции (по Айзенштату);
 N – индекс тепловой нагрузки (по Кондратьеву).

6. Индексы континентальности климата:

K_e – по Горчинскому;
 K_{xp} – по Хромову.

В каждой группе индексы расставлены в порядке применимости и информативности.

Биоклимат территории – важный природный ресурс, от состояния которого зависит комфортность ощущений и самочувствие человека. Биоклиматическая оценка – определение положительных и отрицательных воздействий различных климатических факторов и их комплексов на организм – выявляет медико-климатический потенциал территории для рационального использования ландшафтно-климатических условий в здравоохранении и рекреации (Бутьева, Шейнова, 1988; Варшавина, Митусов, 2006). Исследование биоклиматического потенциала региона имеет социальное значение.

Для оценки биоклимата предложены методики определения влияния различных метеорологических комплексов (температура – влажность воздуха, температура – скорость ветра, температура – атмосферное давление, влажность воздуха – атмосферное давление) на обнаженное тело человека или на человека в одежде с различными теплозащитными свойствами (Айзенштат, 1964).

Согласно (Бутьева, Шейнова, 1988; Варшавина, Митусов, 2006), медико-климатические условия делятся на «раздражающие», определяющие повышенную нагрузку на адаптивные системы организма; «тренирующие», приводящие к незначительному напряжению приспособительных механизмов организма человека; «щадящие», оптимальные для организма.

С помощью уравнения теплового баланса можно описать теплообмен человека, не защищенного одеждой, с окружающей средой (Андреев, Андреева, 2004; Андреев, 2007):

$$T \pm R \pm P - LE - d = \pm Q, \quad (9.20)$$

где T – теплопродукция человека, R – радиационный баланс, P – турбулентный теплообмен между телом и окружающим воздухом; L – скрытая теплота порообразования; E – испарение с поверхности тела, d – потеря тепла органами дыхания, Q – интенсивность дефицита (знак $-$) или избытка (знак $+$) тепла в организме человека.

Q – величина, характеризующая в условиях перегрева тепловую нагрузку, а в условиях теплоотдачи – то количество тепла, которое должно быть дополнительно выделено в организме или которое надо сохранить, используя соответствующую одежду.

Ряд биоклиматических индексов можно рассчитывать по эмпирическим формулам. Рассмотрим некоторые из них.

1. Биологически активная температура окружающей среды человека (БАТ) позволяет определить комплексное воздействие на него температуры и влажности воздуха, скорости ветра, суммарной солнечной радиации, длинноволновой радиации подстилающей поверхности:

$$БАТ = 0,8 \text{ НЭЭТ} + 9,0^\circ\text{C}, \quad (9.21)$$

где НЭЭТ – нормальная эквивалентно-эффективная температура, предложенная И.В. Бутьева для оценки теплоощущений одетого человека (летняя одежда одного типа). Комплексный биоклиматический показатель нормальной эквивалентно-эффективной температуры (НЭЭТ) определяется по формуле:

$$\text{НЭЭТ} = 0,8 \text{ ЭЭТ} + 7^\circ\text{C}. \quad (9.22)$$

Поправка к ЭЭТ в формуле принята равной 7°C в связи с тем, что при температуре воздуха ниже $+7^\circ\text{C}$ любой ветер (даже для одетого человека) является охлаждающим фактором.

ЭЭТ – эквивалентно-эффективная температура, рассчитываемая по формуле А. Миссенарда:

$$ET = 37 - \frac{37 - t}{0,68 - 0,0014f + \frac{1}{1,76 + 1,4V^{0,75}}} - 0,29t(1 - \frac{f}{100}), \quad (9.23)$$

где t – температура воздуха, $^\circ\text{C}$; f – влажность, %; V – скорость ветра, м/с. При расчете ET скорость ветра, измеренная на высоте 10 м над поверхностью земли, приводится к высоте 1,5 м.

Зона комфорта БАТ заключена в пределах от +10 до +20°C.

2. Радиационная эквивалентно-эффективная температура РЭЭТ учитывает влияние солнечной радиации на теплоощущения человека. Этот показатель был предложен Г.В. Шелейховским и с учетом введенных констант был представлен в виде формулы (Русанов, 1973):

$$\text{РЭЭТ} = 125 \lg [1 + 0,02 T + 0,001(T - 8)(f - 60) - 0,45(33 - T)\sqrt{V} + 185 B], \quad (9.24)$$

где T — температура воздуха, °C; f — относительная влажность воздуха, %; V — скорость ветра, м/с; B — поглощенная поверхностью тела солнечная радиация, кВт/м².

В соответствии с рекомендациями Е.Г. Головиной и В.Н. Русанова РЭЭТ может быть рассчитана по упрощенным формулам (Андреев, 2007):

$$\text{РЭЭТ} = \text{НЭЭТ} + 6,2^\circ\text{C} \text{ или } \text{РЭЭТ} = 0,83 \cdot \text{ЭЭТ} + 12^\circ\text{C}. \quad (9.25)$$

Значения РЭЭТ используются для характеристики климато-лечебных свойств региона. Зоны комфорта по значениям РЭЭТ представлены в табл. 9.8.

Таблица 9.8

Классификация теплоощущений по значениям РЭЭТ

Интервал эквивалентно-эффективной температуры	Уровень комфорта
Более +37	Тепловая нагрузка сильная (дискомфорт)
27 ... 37	Тепловая нагрузка умеренная (тепловой субкомфорт)
21 ... 32	Комфортно-тепло
17 ... 21	Прохладно (прохладный субкомфорт)
Менее 17	Холодный дискомфорт

Комфортные условия — это такое сочетание метеорологических величин, которые при длительном и систематическом воздействии на человека не вызывают напряжения физиологических адаптационных

систем организма человека, обеспечивая ощущение теплового комфорта, создавая предпосылки для высокой работоспособности.

Субкомфортные или допустимые условия — это сочетания метеорологических величин, которые могут вызывать напряжение физиологических реакций терморегуляции, не выходящее за пределы адаптационных возможностей. При этом не возникает нарушений в состоянии здоровья, не ухудшается самочувствие и не понижается работоспособность.

Комфортные условия, при которых возникает минимум метеопатических реакций у человека, определяются следующими значениями метеорологических величин: температура воздуха +18°C; относительная влажность 50%; скорость ветра 0 м/с; облачность 0 баллов; межсуточные изменения температуры и давления равны нулю.

3. Эквивалентно-эффективная температура.

А. Миссенардом, как указывалось, введен показатель ЕТ, учитывающий влияние температуры, влажности воздуха и скорости ветра по формуле 9.23.

Значения индекса ЕТ используются как для холодного, так и теплого сезонов года. ЕТ представляет собой сочетание метеорологических величин, производящее тот же тепловой эффект, что и неподвижный воздух при 100% относительной влажности и определенной температуре и оценивает теплоощущения обнаженного по пояс человека (Андреев, 2007).

Установлено, что данный показатель наиболее хорошо отражает влияние климатических условий на состояние человека. Изменение ряда физиологических функций организма идет параллельно с изменением значений эквивалентно-эффективной температуры ЕТ.

С.С. Андреев составил по данным работы Е.Г. Головиной и М.А. Трубиной классификацию ЕТ, позволяющую оценить теплоощущения человека (Андреев, 2007) (табл. 9.9).

Исследования показали, что в подвижном воздухе (при $V > 0,2$ м/с) интенсивность теплоотдачи усиливается, порядок уровня и структура теплоощущения изменяются. И здесь возможны самые разнообразные сочетания $T^\circ\text{C}$, V м/с, $f\%$, при которых степень теплоощущения будет одинакова и соответствовать теплоощущениям при полном насыщении влагой воздуха ($f = 100\%$) и полном отсутствии ветра ($V = 0$). В табл. 9.10 приводятся три таких сочетания (T , V , f).

Таблица 9.9

**Классификация тепловой чувствительности по значениям ЭТ –
эквивалентно-эффективной температуры**

Интервал эквивалентно- эффективной температуры, °ЭТ	Уровень комфорта
Более +30	Тепловая нагрузка сильная
24 ... 30	Тепловая нагрузка умеренная (тепловой субкомфорт)
12 ... 24	Комфортно-тепло
6 ... 12	Прохладно (прохладный субкомфорт)
Менее 6	Холодный дискомфорт

Таблица 9.10

**Сочетания значений температуры воздуха, относительной влажности
и скорости ветра при одинаковой степени теплоощущения**

Температура воздуха (°С)	Относительная влажность (%)	Скорость ветра (м/с)
17,8	100	0
22,4	70	0,5
25,0	20	2,5

В России для совместной оценки воздействия T, f и V используется так называемая эквивалентно-эффективная температура (ЭЭТ), предложенная Б.А. Айзенштатом (1964):

$$\text{ЭЭТ} = t[1 - 0,003(100 - f)] - 0,385V^{0,59}[(36,6 - T) + 0,622(V - 1)] + \\ + [(0,0015V + 0,008)(36,6 - T) - 0,0167](100 - f). \quad (9.26)$$

В табл. 9.11 приведены категории теплоощущений, комфортности, границы зоны охлаждения и перегрева эквивалентно-эффективной температуры.

Наибольший интерес представляет зона комфорта. Ее можно определить как совокупность метеорологических условий, в которых человек получает субъективно хорошее теплоощущение, удерживает

нормальный теплообмен, сохраняет нормальную температуру тела и не выделяет пота. По повторяемости оценок ЭЭТ в пределах 17–22°С определяют потенциальные климатические ресурсы местности: менее 30% – минимальные, 30–50% – достаточные, 50–70% – оптимальные, более 70% – наиболее оптимальные. Чем больше условия среды отличаются от комфортных, чем ограниченнее круг пациентов, которым можно рекомендовать отдых и лечение в таком климате, назначать воздушные ванны и другие климатопроцедуры.

Таблица 9.11

**Категории теплоощущения в градусах ЭЭТ в условиях
умеренных широт**

Категория теплоощущения	ЭЭТ для раздетого человека	ЭЭТ для одетого человека
Комфортно	17,3–21,7	16,7–20,6
Зона охлаждения	ниже 17,3	ниже 16,7
Зона перегрева	выше 21,7	выше 20,6

4. Эффективная температура (ЭТ). Аналитические оценки эффективной температуры для состояния полураздетого (до пояса) человека выполняются по приближенной формуле А. Миссенарда:

$$\text{ЭТ} = T - 0,4(T - 10)(1 - f / 100), \quad (9.27)$$

где T – температура, °С; f – относительная влажность воздуха, %.

Из формулы (9.27) следует, что при температуре воздуха ниже 10°С сухой воздух кажется теплее, чем влажный, а при температуре выше 10°С, наоборот, – холоднее. Эффективная температура пригодна для глобальной биоклиматической классификации.

В работе (Исаев, 2001) указывается, что при самых различных сочетаниях метеорологических элементов можно испытывать одинаковое теплоощущение. Опытным путем установлен ряд сочетаний температуры и относительной влажности воздуха, при которых эффект теплоотдачи и теплоощущения будет одинаковым. Их принято выражать в градусах температуры насыщенного водяного пара неподвижного воздуха – в градусах эффективной температуры (ЭТ). Так, неподвиж-

ный воздух с влажностью $f = 50\%$ при температуре $20,7^{\circ}\text{C}$ будет таким же образом влиять на теплоотдачу и теплоощущения, как и насыщенный (при $f = 100\%$) воздух при $T = 17,8^{\circ}\text{C}$.

Эффект одинакового теплоощущения в неподвижном воздухе сохраняется при следующих сочетаниях T и f :

$T, ^{\circ}\text{C}$	17,8	18,9	20,1	20,7	21,7	22,3	23,2
$f, \%$	100	80	60	50	40	30	20

Эффективные температуры получили широкое распространение в практике оценок тепловых нагрузок, дискомфорта (комфортности) среды, в климатолечении. В зависимости от сезона года категории тепловых нагрузок оцениваются по $+$, $-$ ЭТ следующим образом (табл. 9.12). По эффективным температурам оцениваются также категории опасности при тепловом синдроме (Андреев, 2007), (табл. 9.13).

Таблица 9.12

Оценка тепловых нагрузок по значениям эффективных температур, ЭТ

Для теплого сезона						
$+ \text{ЭТ}^{\circ}\text{C}$	Более 30	30 – 24	24 – 18	18 – 12	12 – 6	6 – 0
Тепло-ощущение	очень жарко	жарко	тепло	умеренно тепло	прохладно	умеренно
Нагрузка	сильная	умеренная	комфортно	комфортно	умеренная	умеренная
Для холодного сезона						
$- \text{ЭТ}^{\circ}\text{C}$	0 – -12	-12 – -24	-24 – -30		ниже -30 холодно	
Тепло-ощущение	Холодно	Очень холодно	Крайне холодно		Крайне холодно	
Нагрузка	Умеренная	Сильная угроза обморожения	Очень сильная угроза обморожения		Чрезвычайно высокая вероятность замерзания	

Степень комфортности климата по показателю влажности воздуха оценивается методом душных погод (Мамонтов, 1973), позволяющим выделить дискомфортные дни с различной степенью духоты. Душной называется погода теплого периода, в которой хотя бы один раз из сроков наблюдений высокая температура воздуха сочетается с высо-

кими значениями парциального давления водяного пара (более $18,8$ гПа) и высокой относительной влажности воздуха (выше 80%). Нижний предел духоты наступает при температуре $16,8^{\circ}\text{C}$ и относительной влажности воздуха 100% (Швейнова, 1974).

Таблица 9.13

Категории опасности при тепловом синдроме в зависимости от эффективной температуры, ЭТ

ЭТ $^{\circ}\text{C}$	Тепловой синдром и его следствия	Категория опасности
Выше 54	Непосредственно угроза теплового или солнечного удара	Чрезвычайная опасность
40 – 54	Вероятность солнечного удара, тепловых спазм или теплового истощения. Возможность теплового удара при длительном воздействии и физической деятельности	Опасность
32 – 40	Возможность солнечного удара, тепловых спазм и теплового истощения при длительном воздействии и физической деятельности	Чрезвычайная осторожность
27 – 32	Возможность повышенной утомляемости при длительном воздействии и физической деятельности	Осторожность

Состояние дискомфорта в душную погоду формируется не только за счет недостатка кислорода. Установлено, что при духоте наблюдаются нарушения терморегуляции (Айзенштат, 1964), ухудшающие самочувствие не только лиц с заболеваниями сердечно-сосудистой системы, но и здоровых людей.

В зимний период комфортность климата определялась с учетом среднемесячной температуры, индекса жесткости погоды, продолжительности периода со среднесуточной температурой ниже 0°C и -5°C , показателей изменчивости температурного режима (число дней с перепадами $> 6^{\circ}\text{C}/6$ ч) за сезон (Русанов, 1973). Летом она определялась по сочетанию сумм среднесуточных температур воздуха выше 10°C ; продолжительности безморозного периода, числа дней с душными погодами и $\text{НЭЭТ} > 22^{\circ}\text{C}$ – выше верхнего уровня температурной комфортности.

Диапазон теплового комфорта организма человека оценивается по совокупности метеорологических условий, при которых возника-

ет субъективно хорошее теплоощущение и сохраняется нормальная температура тела (Швейнова, 1974). Комфортными принято НЭЭТ в пределах от 17°C до 22°C (Бутьева, 1988).

9.4. Климатические ресурсы для энергетики

Климатические ресурсы для энергетики — это климатические условия, способствующие нормальному функционированию атомных, гидро- и теплоэлектростанций, а также наиболее эффективному преобразованию энергии ветра и солнца в электрическую энергию (Акентьева, 2005).

В последующих таблицах, составленных Е.М. Акентьевой с привлечением различных нормативных документов, представлен диапазон изменения основных климатических показателей на территории России, что необходимо учитывать при проектировании, строительстве и эксплуатации ТЭС, АЭС, ГЭС, а также ветро- и гелиоэнергетических установок (табл. 9.14).

Таблица 9.14

Диапазон изменения специализированных климатических показателей для работы ТЭС

Показатель	Минимум	Максимум
Вероятность смерчей	0	$1,3 \cdot 10^{-5}$
Максимальное годовое число дней с опасным ветром, возможное один раз в 100 лет	1	10
Среднее за год число дней с сочетанием температуры воздуха выше 30°C и относительной влажности менее 50%	0	50

Как видно из табл. 9.14, нормальным условиям работы ТЭС препятствуют сильные ветры, погодные условия, при которых возникает сочетание высокой температуры воздуха с низкой относительной влажностью.

Таблица 9.15

Диапазон изменения специализированных климатических показателей для работы АЭС

Показатель	Единицы измерения	Минимум	Максимум
Скорость ветра, возможная один раз в 10 тыс. лет, в любой точке заданной территории	м/с	25	75
Вероятность смерчей	%	0	$1,33 \cdot 10^{-5}$
Абсолютный максимум температуры воздуха	°C	31	45
Повторяемость штилей	%	5	30

Как видно из табл. 9.15, для нормальной работы АЭС необходима хорошая продуваемость территории и противопоказаны смерчи.

В табл. 9.16 представлены данные, которые необходимо учитывать при строительстве и эксплуатации ГЭС.

Таблица 9.16

Диапазон изменения специализированных климатических показателей для работы ГЭС

Показатель	Единицы измерения	Минимум	Максимум
Количество жидких осадков за год	мм	150	721
Запас воды в снеге	мм	0	1000
Коэффициент вариации количества жидких осадков	%	102	38

Ветроэнергетические ресурсы района определяются следующими показателями (табл. 9.17).

Потенциальные ветроэнергетические ресурсы рассчитываются по формулам:

$$P = 0,5\rho V_{cp}^3, \quad (9.28)$$

$$V_{cp}^3 = (V_{cp})^3 (1 + 3\omega^2 + A\omega^3), \quad (9.29)$$

где P — плотность мощности ветра (Вт/м^2), ρ — плотность воздуха (г/см^3), V — средняя скорость ветра (м/с), ω — коэффициент вариации скорости ветра, A — коэффициент асимметрии распределения скорости ветра.

Таблица 9.17

**Диапазон изменения специализированных климатических показателей
для работы ВЭУ**

Показатель	Единицы измерения	Минимум	Максимум
Средний куб скорости ветра за год	$(\text{м/с})^3$	15	973
Повторяемость штилей	%	5	30

Если распределение скорости ветра описывается функцией Максвелла, то после подстановки в формуле значений $\omega = 0,52$ и $A = 0,63$, соответствующих этому распределению, получим

$$V_{cp}^3 \approx 1,9(V_{cp})^3. \quad (9.30)$$

С учетом (9.30), принимая плотность воздуха при нормальных условиях равной $1,3 \cdot 10^{-3} \text{ г/см}^3$, легко рассчитывать по формуле плотность мощности ветра за год.

Общая мощность суммарного (полного) ветрового потока за период времени T оценивается по формуле

$$P = 0,5\rho V_{cp}^3 ST, \quad (9.31)$$

где S — площадь сечения ветрового потока.

Из экономических соображений развивать ветроэнергетику целесообразно только в тех районах, где средняя скорость ветра составляет не менее 3–5 м/с. При скорости ветра более 7 м/с становится целесообразной установка ВЭУ большой мощности.

Благоприятными условиями для выбора площадки для строительства ВЭУ являются: высокий ветроэнергетический потенциал (средняя скорость ветра более 5 м/с, относительно большая продолжительность периода рабочих скоростей от 9 до 25 м/с, повторяемость энергетических затиший (менее $< 3 \text{ м/с}$) 20–30%, небольшие значе-

ния коэффициентов вариации (желательно менее 0,3), отсутствие или малая повторяемость «буревых» (более 20 м/с) и «ураганных» (более 33 м/с) скоростей ветра (Акентьева, 2005).

В табл. 9.18 приводятся показатели гелиоэнергоклиматических ресурсов (первые пять способствуют их увеличению, остальные — уменьшению).

Таблица 9.18

**Диапазон изменения специализированных климатических показателей
для гелиоэнергетических ресурсов**

Показатель	Единицы	Минимум	Максимум
Годовая сумма суммарной радиации на горизонтальную поверхность ($Q_{\text{год}}$)	МДж/м ²	2659	5019
Годовая сумма прямой радиации на горизонтальную поверхность ($S_{\text{год}}$)	МДж/м ²	768	2859
Годовая продолжительность солнечного сияния ($S_{\text{год}}$)	часы	1040	2397
Среднесуточная сумма суммарной радиации за радиационно-теплый период (IV–IX) ($Q_{\text{сут IV–IX}}$)	МДж/м ²	13,9	17,8
Число часов в среднем за год с мощностью суммарной радиации более 600 Вт/м ² ($Q > 600 \text{ Вт/м}^2$)	часы	0,0	20,6
Коэффициент вариации годовых сумм суммарной радиации (ω)	%	4,1	8,5
Среднегодовой балл общей облачности ($n_{\text{общ}}$)	баллы	5,3	7,4
Среднегодовой балл нижней облачности ($n_{\text{ниж}}$)	баллы	2,3	5,5
Число дней без солнца за год	дни	37	137
Вклад суммарной радиации за радиационно-теплый период в годовую сумму ($Q_{IV}/Q_{\text{год}}$)	%	65	94

Для создания и оценки эффективности работы солнечной энергетической установки (СЭУ) необходимы сведения как о прямой, так и о суммарной солнечной радиации, а также о продолжительности

солнечного сияния, т.к. высокочувствительные фокусирующие системы очень чутко реагируют на временные изменения радиации. Наибольшее количество энергии от солнца можно получить, используя следящую за солнцем систему (годовой приход солнечной радиации в среднем увеличивается на 35–40%).

Акентьевой (2005) выполнены оценки различных видов энергоклиматического ресурсного потенциала.

Одним их наиболее опасных региональных последствий глобального потепления климата являются лесные и торфяные пожары, с которыми связаны региональные биосферные изменения, изменения альбедо подстилающей поверхности, эвапотранспирации и радиационного баланса, углеродного обмена между атмосферной и наземными экосистемами. Авторы (Мохов и др., 2006) отмечают, что в последние годы в России и Западной Европе складываются благоприятные условия для формирования засух под влиянием блокирующих антициклонов в тропосфере (блокингов). Модельные оценки показывают, что при глобальном потеплении вследствие увеличения содержания парниковых газов в атмосфере заметно увеличивается роль континентальных блокингов, в частности в весенне-летние месяцы.

В качестве характеристики пожароопасности используется индекс Нестерова (1949) который определяется по формуле:

$$I = \sum (T_m - T_d) T_m, \quad (9.32)$$

где T_m — максимальная температура в °C, T_d — температура точки росы, зависящая от относительной влажности и температуры, в °C, суммирование приводится для тех дней, когда количество осадков P за сутки не превышает 3 мм. При $P > 3$ мм величина I зануляется. Принято разбивать значения потенциала пожароопасности на 5 диапазонов. Условия с $I < 300$ (режим I) считаются непожароопасными, а в диапазоне 300–1000, 1000–4000, 4000–10000 и больше 10000 — соответственно, режимы с малым (II), умеренным (III), высоким (IV) и экстремальным (V) уровнями пожароопасности.

10. Агроклиматические ресурсы тепла и влаги

Агроклиматические ресурсы — совокупность агроклиматических условий, определяющих величину получаемой сельскохозяйственной продукции на конкретной территории (Толковый словарь, 2002). Их влияние на объекты и процессы сельскохозяйственного производства, в особенности на формирования продуктивности культурных растений, обуславливает в значительной мере размер урожая, качество продукции, ее стоимость, производительность труда. Изучение закономерностей формирования урожая культурных растений возможно лишь на основе количественной оценки метеорологических факторов, главными из которых являются свет, тепло, влага (Руководящий документ, 2000).

10.1. Показатели термических условий и увлажнения вегетационного периода

Для сельскохозяйственной оценки термических ресурсов климата Г.Т. Селяниновым предложены суммы активных температур. Суммы температур используются как показатель, характеризующий количество тепла за определенный период. Они служат показателем обеспеченности теплом периода активной вегетации сельскохозяйственных культур в умеренном поясе. Суммы активных температур складываются из средних суточных температур равных 10°C и более (Чирков, 1986).

Для выражения потребности растений в тепле применяются также суммы эффективных температур. Это суммы средних суточных тем-

ператур, отсчитанных от биологического минимума, при которых развиваются растения данной культуры. Биологические минимумы температуры развития для различных растений неодинаковы: для яровой пшеницы принята температура 5°C, для кукурузы 10°C. Суммы активных и эффективных температур имеют экологическое значение, выражая связь растений со средой обитания (атмосфера – гидросфера – литосфера).

Климатические сезоны обычно выделяются по переходу средней суточной температуры воздуха через определенные пределы 0, 10, 15°C. Температурной границей между теплым и холодным периодами года являются 0°C весной и осенью. Для каждого года даты перехода средней суточной температуры через заданные пределы определены по суточным данным. За дату устойчивого перехода температуры воздуха через 0, 5, 10, 15°C весной принимается первый день периода, сумма положительных отклонений которого превышает сумму отрицательных отклонений любого из последующих периодов с отрицательными отклонениями. За дату устойчивого перехода температуры воздуха через 15, 10, 5, 0°C осенью принимается первый день периода, сумма отрицательных отклонений которого превышает сумму положительных отклонений любого из последующих периодов с положительными отклонениями.

Продолжительность периодов с температурой выше указанных пределов для теплого периода вычислялись путем подсчета числа дней соответственно выше 5, 10 и 15°C. При подсчете дата перехода температуры весной учитывается, а дата перехода осенью в подсчет не входит.

Для оценки условий увлажнения используется гидротермический коэффициент ГКТ (Г.Т. Селянинова):

$$ГКТ = \frac{\Sigma r}{\Sigma t} \cdot 10, \quad (10.1)$$

где Σr – сумма осадков за вегетационный период (мм), Σt – сумма активных температур за тот же период. Величина ГКТ = 1,0 указывает на сбалансированность прихода и расхода влаги; $0,5 \leq ГКТ \leq 1$ – засушливо, недостаточно влажно; $ГКТ < 0,5$ – очень засушливо; $ГКТ > 1,0$ – избыточно влажно.

Особенности проявления атмосферных засух определяются по индексу засушливости Д.А. Педя, Si , рассчитанного по месячным значениям температура воздуха и осадков:

$$Si = \frac{\Delta t}{\sigma_t} - \frac{\Delta r}{\sigma_r} \quad (10.2)$$

где Σt , Σr – отклонения температуры воздуха и суммы осадков от нормы, σ – среднеквадратическое отклонение.

Степень интенсивности засухи или избыточного увлажнения оценивается по индексу Si исходя из следующих критериев:

$Si = 1,0 - 2,0$ – слабая засуха;

$Si = 2,0 - 3,0$ – средняя засуха;

$Si \geq 3,0$ – сильная засуха;

$Si = -1,0 + 1,0$ – нормальные условия увлажнения;

$Si = -1,0 - -2,0$ – слабое избыточное увлажнение;

$Si = -2,0 - -3,0$ – среднее избыточное увлажнение;

$Si \leq -3,0$ – сильное избыточное увлажнение.

10.2. Термические ресурсы и продолжительность вегетационного периода

Одним из главных факторов, определяющих основные жизненные функции растительности, является тепло. Вегетация растений начинается с даты, когда средняя суточная температура устойчиво переходит через 5°C (биологический минимум основных сельскохозяйственных культур умеренных широт). Чем выше температура воздуха, тем динамичнее происходит развитие растений. Повышение температуры оказывает положительное влияние на рост до определенного предела. Для конкретной фазы развития растения различают оптимальные температуры, а также экстремальные, при которых возможны гибель или прекращение вегетации растений.

В температурном режиме территории выделяются холодный и теплый периоды и связанные с ними периоды вегетации и покоя растений. Сроки устойчивого перехода средней суточной температуры воздуха через 0°C делят на теплый и холодный периоды, а сроки перехода через +5°C приняты за начало и конец вегетационного периода.

Весной, в период повышения температуры устойчивый переход средней суточной температуры воздуха через 0°C (табл. 10.1) отмечается на юге территории 26 – 31 марта (ст. Самара, Серноводск). По мере продвижения на север время перехода к положительным значениям средней суточной температуры сдвигается на более поздние сроки, переход через 0°C происходит 5–6 апреля (ст. Лальск, Кирс). Прослеживается зональность в переходе через 0°C с последней декады марта (Самарская область) на юге территории и первой декады апреля на севере (Кировская область).

Таблица 10.1

Средние даты устойчивого перехода средней суточной температуры воздуха через 0°C, +5°C, +10°C, +15°C

Станция	0°C		+5°C		+10°C		+15°C	
	начало	конец	начало	конец	начало	конец	начало	конец
Лальск	06.04.	23.10.	26.04.	01.10.	23.05.	04.09.	15.06.	03.08.
Кирс	05.04.	22.10.	26.04.	29.09.	21.05.	04.09.	13.06.	06.08.
Шабалино	01.04.	26.10.	21.04.	01.10.	16.05.	10.09.	10.06.	14.08.
Киров	01.04.	25.10.	21.04.	30.09.	13.05.	13.09.	07.06.	14.08.
Яранск	01.04.	29.10.	20.04.	04.10.	08.05.	16.09.	05.06.	18.08.
Кильмезь	03.04.	28.10.	20.04.	04.10.	05.05.	16.09.	04.06.	18.08.
Глазов	04.04.	23.10.	24.04.	01.10.	15.05.	10.09.	09.06.	12.08.
Ижевск	01.04.	25.10.	20.04.	03.10.	08.05.	16.09.	04.06.	17.08.
Морки	02.04.	29.10.	19.04.	05.10.	06.05.	17.09.	03.06.	21.08.
Чебоксары	02.04.	29.10.	18.04.	06.10.	04.05.	20.09.	01.06.	24.08.
Алатырь	30.03.	31.10.	15.04.	09.10.	01.05.	20.09.	29.05.	27.08.
Казань	31.03.	30.10.	16.04.	10.10.	01.05.	21.09.	30.05.	26.08.
Елабуга	29.03.	30.11.	16.04.	10.10.	02.05.	21.09.	29.05.	25.08.
Чистополь	03.04.	29.10.	18.04.	10.10.	04.05.	20.09.	02.06.	25.08.
Чулпаново	01.04.	01.11.	15.04.	09.10.	30.04.	21.09.	28.05.	26.08.
Бугульма	05.04.	26.10.	18.04.	04.10.	04.05.	20.09.	02.06.	23.08.
Ульяновск	27.03.	01.11.	14.04.	12.10.	02.05.	22.09.	26.05.	29.08.
Канадей	22.03.	06.11.	11.04.	15.10.	26.04.	25.09.	23.05.	31.08.
Серноводск	31.03.	01.11.	14.04.	12.10.	27.04.	25.09.	21.05.	01.09.
Самара	26.03.	03.11.	11.04.	15.10.	23.04.	27.09.	16.05.	05.09.
Авангард	29.03.	03.11.	12.04.	14.10.	24.04.	27.09.	20.05.	06.09.

Средняя продолжительность периода с устойчивым переходом температуры воздуха через 0°C составляет от 225 дней (Самарская область) до 200 дней (Кировская область).

С переходом средней суточной температуры воздуха через 0°C начинается таяние снега и оттаивание почвы. Температура воздуха динамично повышается. Период до даты перехода через + 5°C на большей части Среднего Поволжья длится 15–20 дней.

Устойчивый переход температуры выше + 5°C начинается 11–12 апреля (ст. Самара, Авангард) на юге и 26 апреля на севере (ст. Лальск, Кирс). Продолжительность периода с температурой выше +5°C изменяется от 190 дней в южных районах до 160 дней на севере (рис. 10.1).

С переходом температура воздуха через +10°C начинается активная вегетация растений. Переход через +10°C отмечается 23–24 апреля (ст. Самара, Авангард) и 21–23 мая (ст. Лальск, Кирс). Зональная составляющая дат перехода составляет 25–30 дней.

Продолжительность периода активной вегетации растений изменяется от 100 дней на севере до 160 дней на юге Среднего Поволжья (рис.10.2). Изменчивость дат перехода через +10°C достигает 10–15 дней.

Период подъема температуры воздуха между датами перехода через + 10°C и +15°C составляет 15–20 дней.

Переход средней суточной температуры воздуха через +15°C характеризует наиболее теплую часть лета. Средняя дата устойчивого перехода средней суточной температуры воздуха через +15°C отмечается 16–20 мая (ст. Самара, Авангард) и 13–15 июня (ст. Лальск, Кирс). Число дней с устойчивым переходом температуры воздуха через +15°C изменяется от 115 дней (ст. Авангард) до 50 дней (ст. Лальск).

Понижение средней суточной температуры воздуха начинается во второй половине июля. Период понижения средней суточной температуры с +15°C до +10°C составляет 20 дней на юге и 30 дней на севере территории.

Наиболее устойчивыми по территории являются периоды с температурой выше + 5°C. Изменчивость продолжительности периодов со средней суточной температурой воздуха выше +10°C составляет 10–15 дней.

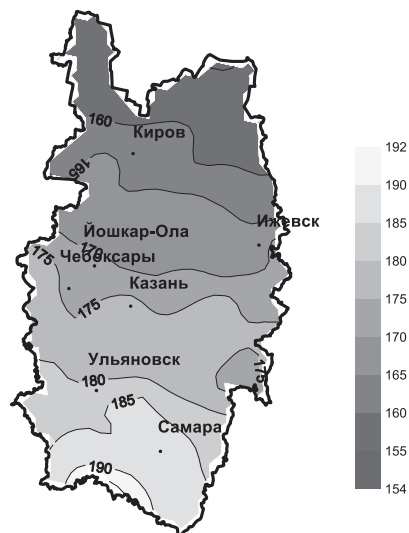


Рис. 10.1. Продолжительность (дни) периода с температурой воздуха выше +5 °C



Рис. 10.2. Продолжительность (дни) периода с температурой воздуха выше +10 °C

Даты устойчивого перехода средней суточной температуры воздуха через 0°C, +5°C, +10°C, +15°C могут значительно отклоняться от средних дат.

Среднее отклонение дат перехода средней суточной температуры воздуха через 0°C составляет ± 10 –13 дней в сезон. Среднее отклонение дат перехода средней суточной температуры воздуха через +10°C составляет ± 10 –12 дней за сезон. Среднее отклонение дат перехода средней суточной температуры воздуха через +15°C составляет ± 15 –20 дней, весной и осенью.

Показателями количества тепла, необходимого для развития культурных растений являются суммы активных и эффективных температур.

Сумма эффективных температур выше +5°C по территории Среднего Поволжья изменяется от 1100°C на севере до 2100°C на юге (рис. 10.3). Суммы эффективных температур выше +10 °C отражают зональность в распределении тепла, 450°C на севере и 1200°C на юге.

Термические ресурсы территории и потребность сельскохозяйственных культур к теплу дана суммой средних суточных температур воздуха с температурой выше +10°C (рис. 10.4). Сумма активных температур увеличивается с севера на юг от 1500°C (Кировская область) до 2800°C (Самарская область).

Потребность растений в тепле, выраженная суммой активных температур, рассчитана в настоящее время для всех культурных растений. В зависимости от скороспелости сорта, она находится в пределах 900–1300°C для льна, 1300–1700°C для яровой и озимой пшеницы, 2100–2900°C для кукурузы, 1600–2300°C для подсолнечника (Павлова, 1984).

Значительная разница сумм активных температур по территории с севера на юг должна определить выбор основных сельскохозяйственных культур с 90% обеспеченностью их созревания.

10.3. Ресурсы влаги

Основным источником влаги являются атмосферные осадки. Количество и распределение их по территории республики зависят от

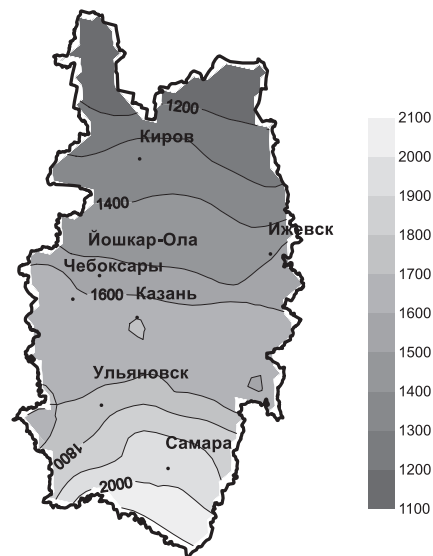


Рис. 10.3. Суммы эффективных температур воздуха выше +5 °С

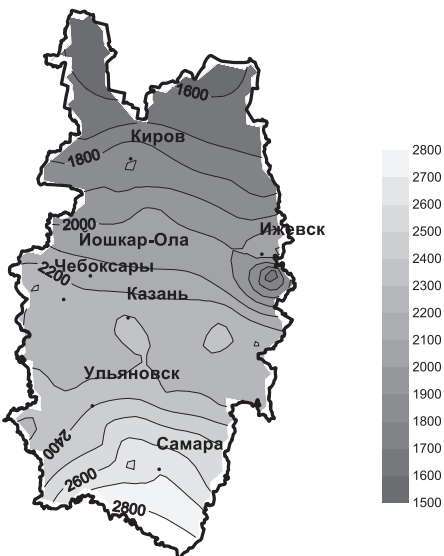


Рис. 10.4. Сумма активных температур воздуха выше +10 °С

преобладающего направления перемещения масс воздуха, содержащих влагу, а также от физико-географических особенностей. Наиболее благоприятны обложные дожди, которые выпадают сравнительно равномерно и хорошо впитываются почвой. Ливневые осадки кратковременны и интенсивны. При этом почва не успевает впитывать воду, которая быстро стекает в пониженные места; потоком вода смывает почву со склонов и слабо укоренившиеся растения (водная эрозия почвы).

В период активной вегетации растений выявляется значительная временная изменчивость количества осадков по территории Среднего Поволжья: 31–57 мм в мае, 53–78 мм в июне, 40–77 мм в июле, 33–69 мм в августе (табл. 10.2).

Таблица 10.2

Средние значения месячных сумм осадков (мм) за период активной вегетации (май–август)

Станция	V	VI	VII	VIII	$\Sigma(V-VIII)$
Лальск	50	66	77	67	260
Кирс	57	78	74	69	278
Шабалино	54	73	72	67	266
Киров	55	67	76	71	269
Яранск	45	68	69	61	243
Кильмезь	39	66	77	68	250
Глазов	46	74	72	61	253
Ижевск	43	61	64	63	231
Морки	40	61	68	56	225
Чебоксары	42	69	64	60	235
Алатырь	37	58	63	50	208
Казань	38	67	66	58	229
Елабуга	46	57	66	61	230
Чистополь	41	58	57	57	213
Чулпаново	37	71	52	53	213
Бугульма	44	73	68	58	243
Ульяновск	37	66	66	49	218
Канадей	36	59	59	46	200
Серноводск	31	59	50	43	183
Самара	36	58	58	48	200
Авангард	32	53	40	33	158

Суммы осадков в мае – августе распределены неравномерно, наблюдается уменьшение осадков с севера на юг: 278 мм (ст. Кирс), 158 мм (ст. Авангард). В динамике выпадения осадков на всех станциях отмечается наименьшая величина в мае, максимальная в июне – июле.

Оценку увлажнения по сумме летних осадков можно выполнить с помощью следующих показателей: если в месяц выпадает осадков 30 мм и меньше, то увлажнение недостаточное, при 40–50 мм – умеренно увлажненное, при осадках 60–70 мм – достаточное увлажнение. Существенным показателем является период выпадения осадков и их интенсивность. При интенсивных осадках (ливнях) большая часть осадков стекает и незначительная часть усваивается растениями.

Потребность растений во влаге в различные фазы развития неодинакова. Наибольшая потребность растений во влаге отмечается в период интенсивного роста вегетационной массы и репродуктивных органов. Для ранних зерновых культур важное значение имеют осадки первой половины лета, а для поздних пропашных культур – второй половины лета.

Количество осадков недостаточно полно характеризует влагообеспеченность республики. В качестве показателя условий увлажнения вегетационного периода используется гидротермический коэффициент.

Гидротермический коэффициент показывает, что при одном и том же количестве осадков степень влагообеспеченности растений зависит от температуры воздуха: чем выше температура воздуха и выше непродуктивный расход влаги на испарение, тем меньше влагообеспеченность растений.

Относительный показатель увлажненности территории Среднего Поволжья за вегетационный период (май–август) позволяет выявить закономерности и особенности повторяемости атмосферных засух по ГТК (табл. 10.3).

В мае очень засушливо ($ГТК \leq 0,5$) от 70% (ст. Авангард, Самарская область) до 30% (ст. Лальск, Кировская область), на большей части территории 40–50%. Засушливо, недостаточно влажно в мае ($0,5 \leq ГТК \leq 1$) составляет 25–35%. Повторяемость избыточного увлажнения ($ГТК > 1,0$) в мае изменяется от 10% на юге Самарской области до 35% на севере Кировской области. Условия увлажнения мая

Таблица 10.3

Повторяемость (%) атмосферных условий увлажнения по ГТК

Станции	Характер											
	очень засушливо				засушливо, недостаточно влажно				избыточное увлажнение			
	май	июнь	июль	август	май	июнь	июль	август	май	июнь	июль	август
Лальск	35,9	12,8	2,6	5,1	35,9	41	30,8	33,3	28,2	46,2	66,7	61,5
Кирс	33,3	10,3	2,6	2,6	28,2	23,1	30,8	17,9	38,5	66,7	66,7	79,5
Шабалино	43,6	17,9	7,7	5,1	28,2	30,8	35,9	38,5	28,2	51,3	56,4	56,4
Киров	25,6	15,4	2,6	5,1	46,2	30,8	38,5	23,1	28,2	53,8	59	71,8
Яранск	48,7	25,6	7,7	10,3	28,2	28,2	33,3	30,8	23,1	46,2	59	59
Кильмезь	61,5	35,9	30,8	28,2	30,8	30,8	25,6	17,9	7,7	33,3	43,6	53,8
Глазов	31,6	10,5	0,0	0,0	39,5	21,1	36,8	42,1	28,9	68,4	63,2	57,9
Ижевск	51,3	20,5	10,3	5,1	30,8	38,5	43,6	51,3	17,9	41,0	46,2	43,6
Морки	44,7	18,4	10,5	10,5	34,2	44,7	42,1	47,4	21,1	36,8	47,4	42,1
Чебоксары	42,9	22,9	8,3	11,1	40	34,3	41,7	41,7	17,1	42,9	50	47,2
Алатырь	50,0	26,3	15,8	7,9	34,2	42,1	39,5	65,8	15,8	31,6	44,7	26,3
Казань	53,8	23,1	5,1	7,7	28,2	38,5	48,7	41,0	17,9	38,5	46,2	51,3
Елабуга	48,7	33,3	23,1	23,1	33,3	38,5	43,6	38,5	17,9	28,2	33,3	38,5
Чуланово	51,3	12,8	15,4	12,8	25,6	30,8	46,2	38,5	23,1	56,4	38,5	48,7
Бугульма	66,7	17,9	15,4	10,3	10,3	38,5	30,8	35,9	23,1	43,6	53,8	53,8
Ульяновск	61,5	41	35,9	28,2	25,6	23,1	25,6	35,9	12,8	35,9	38,5	35,9
Канай	51,3	23,1	15,4	10,3	35,9	35,9	51,3	59	12,8	41	33,3	30,8
Серноводск	66,7	28,2	20,5	15,4	23,1	38,5	53,8	64,1	10,3	33,3	25,6	20,5
Самара	56,4	28,2	17,9	17,9	28,2	43,6	43,6	51,3	15,4	28,2	38,5	30,8
Авангард	64,1	33,3	35,9	25,6	23,1	46,2	46,2	64,1	12,8	20,5	17,9	10,3

характеризуются как очень засушливые на юге и достаточно влажные на севере территории.

В июне очень засушливо наблюдается на юге Самарской области 30–40%, на остальной части территории 10–20%. Засушливо, недостаточно влажно в июне повторяется в пределах 30–50%. Повторяемость избыточного увлажнения в июне изменяется от 20–30% на юге Самарской области до 50–60% в Кировской области и Удмуртии. Условия увлажнения июня показывают, что отмечается положительная динамика в распределении влаги по территории, в том числе и на юге.

В июле очень засушливо в Самарской области 40% с уменьшением повторяемости к северу 10–20% в Ульяновской области и 5–10% на остальной части территории (Республика Татарстан, Чувашская респ., Марий Эл, Удмуртская респ., Кировская область). Засушливые условия в июле изменяются от 50% в Самарской области до 30% в Кировской области. На остальной части Среднего Поволжья повторяемость атмосферных засух составляет 30–50%. В июле месяце избыточное увлажнение изменяется от 15% Самарская область до 70% Кировская область. Отмечается зональное увеличение повторяемости атмосферных засух с севера на юг.

Условия увлажнения июля показывают зависимость испарения от температуры воздуха. Большие суммы активных температур на юге территории по сравнению с северными районами приводят к более значительному испарению и увеличению повторяемости атмосферных засух на юге Среднего Поволжья.

В августе очень засушливо наблюдается на юге Самарской области с максимальной повторяемостью 40%, по мере продвижения на север происходит быстрое уменьшение. На большей части территории повторяемость засух составляет 5–10%. Повторяемость атмосферных засух по недостаточно влажно составляет 30–50%, лишь в Кировской области минимальные значения достигают 20–25%. Избыточное увлажнение в августе изменяется от 10% на юге Самарской области (ст. Авангард) до 75% на севере Кировской области (ст. Мураши, Кирс). Линия 50% повторяемости (ГТК > 1,0) проходит от Чебоксар (на западе) до Елабуги (на востоке) территории. Динамика повторяемости атмосферных засух в августе по ГТК повторяет условия увлажнения июля месяца.

Условия увлажнения Среднего Поволжья за вегетационный период достаточно хорошо выражают общую динамику атмосферных процессов, происходящих на рассматриваемой территории. Выявляется достаточно хорошая зависимость проявления зональности как в режиме температуры, так и в режиме ГТК. Очень засушливые условия в июне – августе на юге, Самарская область, 40–70%, на севере, Кировская область 5–10%. В мае ГТК ≤ 0,5 имеет большую повторяемость по всей территории от 30–40% на севере и до 60–70% на юге.

Территория Среднего Поволжья подвержена воздействию засух. Засуха – явление природы, обусловленное циркуляционными процессами в атмосфере, с длительным отсутствием осадков в сочетании с повышенными температурами воздуха, почвы и ветрами, приводящими к разному снижению относительной влажности воздуха, истощению запасов почвенной влаги, нарушению водного баланса растений.

Главной причиной засух являются длительно действующие антициклонические процессы. Большая повторяемость засух приходится на май–июль, период активной вегетации сельскохозяйственных культур. В среднем в 30% лет наблюдаются засухи на территории Саратовской, Самарской, Ульяновской областях, Татарстана.

В соответствии с методом Педя Д.А. рассчитаны повторяемости засушливых условий (табл. 10.4.). Засушливые условия чаще возникают в мае – июле, с максимальной повторяемостью средней засухи 10–14% южнее 57° с.ш., в период вегетации большинства сельскохозяйственных культур. Нормальные условия увлажнения наблюдаются в среднем с 50% повторяемостью по всей территории, за исключением июня в Самарской области, где эти условия возникают с повторяемостью до 30%. Избыточное увлажнение, как явление противоположное засухам, имеет практический интерес, в связи с тем, что наносимый им ущерб во время уборки урожая, заготовки, хранения может быть достаточно большим. В отдельные годы потери урожая из-за избыточного увлажнения не уступают потерям от засух. В период активной вегетации растений избыточное увлажнение наблюдается в 8–12% случаев.

Сильные засухи на территории Среднего Поволжья связаны с развитием меридиональных процессов на востоке Европейской части России. Высокие малоподвижные антициклоны в 1972 и 2010 гг. обусловили сильные и длительные засухи весенне-летнего периода.

Станции	Характер											
	средняя засуха			нормальное увлажнение			избыточное увлажнение					
	май	июнь	июль	август	май	июнь	июль	август	май	июнь	июль	август
Лальск	5,4	2,6	0	5,4	59,5	47,4	63,2	67,6	2,7	5,3	0	0
Кирс	13,5	5,3	5,3	0	45,9	63,2	44,7	57,9	13,5	7,9	2,6	2,6
Шабалино	8,1	2,6	5,3	2,6	40,5	50	55,3	63,2	10,8	7,9	2,6	0
Киров	10,5	7,7	10,3	5,1	39,5	53,8	46,2	48,7	10,5	2,6	7,7	5,1
Яранск	2,7	7,9	10,5	0	35,1	57,9	65,8	73,7	10,8	13,2	5,3	5,3
Кильмезь	0	3,6	0	0	74,1	67,9	64,3	78,6	3,7	0	3,6	3,6
Глазов	5,4	13,2	2,6	7,9	59,5	52,6	55,3	65,8	2,7	0,0	2,6	2,6
Ижевск	2,6	12,8	5,1	5,1	36,8	51,3	41,0	53,8	0,0	0,0	0,0	2,6
Морки	8,1	5,3	7,9	0	40,5	52,6	50	71,1	0	0	5,3	0
Чебоксары	2,9	2,9	8,3	0	58,8	54,3	63,9	72,2	0,0	5,7	0,0	5,6
Алатырь	10,8	2,7	7,9	2,6	51,4	56,8	57,9	57,9	5,4	5,4	5,3	2,6
Казань	13,2	10,5	12,8	0	39,5	44,7	48,7	60,5	15,8	7,9	10,3	2,6
Елабуга	3	0	0	3	57,6	59,4	60,6	75,8	3	0	6,1	3
Чупаново	7,7	15,8	7,7	5,1	41	36,8	38,5	56,4	12,9	5,2	12,8	7,7
Бугульма	12,8	15,8	12,8	7,7	41	47,4	28,2	53,8	12,8	7,9	12,8	10,3
Ульяновск	3,3	0	0	0	63,3	58,6	66,7	70	3,3	0	3,3	0
Кандей	2,6	10,5	5,1	7,7	43,6	47,4	35,9	46,2	12,8	15,8	12,8	12,8
Серноволск	10,3	18,4	10,3	7,7	43,6	42,1	33,3	59	15,4	10,5	2,6	5,1
Самара	2,6	7,9	7,7	10,3	43,6	47,4	25,6	43,6	2,6	7,9	15,4	17,9
Авангард	10,3	13,2	10,3	7,7	48,7	44,7	20,5	46,2	0	10,5	10,3	10,3

11. Прикладные показатели климата

11.1. Климатическая характеристика отопительного периода

В связи с тем, что в Среднем Поволжье в последние десятилетия наблюдается заметное уменьшение континентальности климата, главным образом, вследствие увеличения зимних температур, участвовавших теплых зим (за исключением зим 2005/06 и 2009/10 годов), представляет практический интерес рассмотрение динамики климатических характеристик (КХ) отопительного периода.

Действительно, климатические характеристики отопительного периода (ОП) широко используются в производственной деятельности и жилищно-коммунальном хозяйстве для разработки нормативов запасов и расходов топлива в том или ином географическом регионе; установления режима деятельности различных энергетических служб; обоснования стратегии функционирования и развития всего топливно-энергетического комплекса. Проблеме эффективного использования КХ отопительного периода посвящен ряд работ (Кобышева и др., 2004).

Принято отопительным периодом называть холодную часть года, когда средняя суточная температура атмосферного воздуха устойчиво удерживается ниже +8°C. В этот период для поддержания нормальной температуры внутри жилых и производственных помещений необходимо их отапливать. За начало ОП принимается момент, когда наблюдаемая среднесуточная температура понижается до +8°C или ниже и в течение следующих 4 дней не поднимается выше этого значения. Оканчивается отопительный сезон тогда, когда весной среднесуточная температура повышается до указанного выше значения и в течение следующих 4 дней не опускается ниже. Пятидневный период

выбран, исходя из средней продолжительности естественных синоптических периодов.

Основными климатическими характеристиками отопительного периода являются: дата начала ОП осенью, дата окончания ОП весной, продолжительность ОП от даты его начала до даты окончания, средняя температура атмосферного воздуха за ОП. Для получения оценок даты начала и окончания ОП, средней продолжительности ОП, средней температуры ОП, самой ранней и поздней даты начала ОП и самой ранней и поздней даты окончания ОП, минимальной и максимальной продолжительности ОП, а также минимальных и максимальных значений температуры ОП использовались среднесуточные значения температуры воздуха на 21 станции Среднего Поволжья за период 1966–2004 гг.

В табл. 11.1 и 11.2 представлен ряд важнейших характеристик ОП, свидетельствующих о характере его распределения на территории региона. В большей степени подвержены пространственным изменениям самые поздние даты окончания ОП.

Анализ этих данных показывает, что в среднем отопительный период на большей части территории Среднего Поволжья начинается в период 19 сентября – 9 октября, а заканчивается в период 23 апреля – 14 мая, т.е. при территориальных различиях около 20 дней, учитывая крайние северные и южные станции. Средняя продолжительность ОП колеблется в пределах 40 дней – от 198 до 239 дней (выделяется ст. Лальск), а средняя температура ОП меняется от -4,4 до -5,7°C.

Аналогичное исследование, выполненное нами ранее для Татарстана, показывает, что в среднем продолжительность ОП сокращается, а средняя температура воздуха в ОП растет, аналогичная ситуация складывается и по всему региону Среднего Поволжья. Безусловно, все это имеет важное экономическое значение, так как расходы на отопление по РФ составляют не менее 30–40% общих расходов вырабатываемой тепловой энергии (Кобышева и др., 2004). Согласно составленному под руководством Н.В. Кобышевой в ГГО им. А.И. Воейкова климатическому прогнозу продолжительности ОП на период 2071–2090 гг. по ансамблю моделей МГЭИК, произойдет его существенное снижение до 170–190 дней. При этом выявляется значительная временная неустойчивость продолжительности ОП.

Таблица 11.1

Даты начала и окончания отопительного периода

Станция	Дата начала ОП			Дата окончания ОП		
	средняя	самая ранняя	самая поздняя	средняя	самая ранняя	самая поздняя
Лальск	19.IX	25.VIII.1970	22.X.2003	14.V	22.IV.1983	7.VI.1971
Кирс	20.IX	27.VIII.1966	23.X.2003	11.V	21.IV.1967	8.VI.1999
Шабалино	25.IX	7.IX.1998	23.X.2003	4.V	3.IV.1983	27.V.1990
Киров, АМСГ	27.IX	8.IX.1968	23.X.2003	3.V	4.IV.1983	22.V.1988
Яранск	28.IX	8.IX.1968	23.X.2003	1.V	8.IV.1975	27.V.1990
Кильмезь	1.X	15.IX.1982	23.X.2003	29.IV	6.IV.1983	14.V.1978
Глазов	24.IX	30.VIII.1992	23.X.2003	7.V	13.IV.1973	3.VI.1969
Ижевск	28.IX	5.IX.1980	23.X.2003	1.V	8.IV.1975	17.V.1971
Морки	1.X	8.IX.1968	29.X.1991	30.IV	8.IV.1975	17.V.1971
Чебоксары	2.X	8.IX.1968	29.X.1991	29.IV	13.IV.1966	17.V.1971
Алатырь	4.X	14.IX.1973	29.X.1991	27.IV	4.IV.1975	17.V.1971
Казань	4.X	15.IX.1973	29.X.1991	29.IV	7.IV.1975	17.V.1971
Елабуга	2.X	16.IX.1973	23.X.2003	30.IV	8.IV.1983	17.V.1971
Чистополь	4.X	16.IX.1993	25.X.1997	30.IV	16.IV.1995	13.V.1992
Чулпаново	4.X	14.IX.1973	29.X.1991	28.IV	7.IV.1975	13.V.1972
Бугульма	29.IX	7.IX.1997	24.X.2003	30.IV	7.IV.1975	31.V.1969
Ульяновск	5.X	16.IX.1993	29.X.1991	27.IV	4.IV.1975	9.V.1978
Кандей	8.X	16.IX.1973	29.X.1991	24.IV	3.IV.1975	9.V.1978
Серноволск	5.X	14.IX.1973	30.X.1991	25.IV	4.IV.1975	10.V.1971
Самара	8.X	15.IX.1973	30.X.1991	23.IV	3.IV.1975	10.V.1971
Авангард	9.X	16.IX.1973	30.X.1991	23.IV	3.IV.1995	17.V.1971

Продолжительность и средняя температура воздуха за отопительный период

Станция	Продолжительность (сутки)			Средняя температура за период		
	Средняя	Миним. (год)	Макс. (год)	Средняя	Миним. (год)	Макс. (год)
Лалек	239	200 (1995)	287 (1971)	-5,0	-9,0 (1979)	-2,6 (1966)
Кирс	234	195 (1975)	273 (1974)	-5,4	-9,2 (1979)	-2,4 (1966)
Шабалино	223	187 (1975)	243 (1969)	-4,8	-8,1 (1985)	-2,3 (1966)
Киров, АМСГ	219	189 (1975)	244 (1969)	-5,1	-7,7 (1985)	-2,0 (1966)
Яранск	217	172 (1975)	240 (1978)	-5,1	-9,1 (1969)	1,6 (1990)
Кильмезь	212	191 (1982)	238 (1978)	-5,1	-7,6 (1985)	-1,5 (1966)
Глазов	226	189 (1975)	269 (1969)	-5,7	-9,0 (1985)	-2,2 (1966)
Ижевск	217	172 (1975)	245 (1969)	-5,6	-8,0 (1985)	-2,1 (1966)
Морки	213	172 (1975)	244 (1969)	-5,0	-7,4 (1985)	-1,9 (1966)
Чебоксары	211	185 (1992)	241 (1978)	-4,6	-7,8 (1969)	-1,7 (1966)
Алатырь	207	167 (1975)	235 (1978)	-4,5	-9,3 (1969)	-1,5 (1966)
Казань	209	170 (1975)	238 (1978)	-4,6	-7,1 (1969)	-1,8 (1966)
Елабуга	211	171 (1975)	236 (1969)	-4,9	-7,6 (1969)	-1,8 (1966)
Чистополь	209	179 (1995)	230 (1994)	-5,0	-7,4 (1979)	-1,5 (1966)
Чулпаново	208	170 (1975)	232 (1978)	-5,3	-10,0 (1969)	-1,7 (1966)
Бугульма	214	169 (1975)	266 (1969)	-5,4	-7,7 (1976)	-1,8 (1966)
Ульяновск	205	179 (1995)	232 (1978)	-4,4	-7,3 (1976)	-1,4 (1966)
Канадей	200	166 (1975)	227 (1974)	-4,4	-8,9 (1969)	-1,3 (1966)
Серноводск	204	166 (1975)	231 (1978)	-5,2	-10,1 (1969)	-1,6 (1966)
Самара	198	161 (1995)	228 (1974)	-4,6	-9,0 (1969)	-1,5 (1966)
Авангард	198	161 (1995)	231 (1971)	-5,3	-10,0 (1969)	-1,5 (1966)

Согласно «Оценочному докладу, том II» (2008) по сравнению с нормой 1961–1990 гг. на большей части территории России продолжительность отопительного периода сократится не более чем на 5% к 2025 г. и на 5–10% к середине XXI века. В связи с ожидаемым повышением температуры холодных суток к 2015 г. в оценочном докладе сделан вывод об уменьшении продолжительности ОП в России на 1–4 суток. Прогнозируемые относительные изменения затрат на отопление помещений (индекс потребления топлива) имеют те же пространственные закономерности, но характеризуются приблизительно вдвое большими значениями.

Важную роль играет также период наиболее высокой температуры воздуха летом. Она отрицательно влияет на здоровье населения, и кондиционирование помещений с целью понижения температуры требует определенных затрат. Согласно оценкам А.А. Александровой (2006), к 2015 г. на территории России температура наиболее жарких суток календарного года заметно повысится, что приведет к увеличению затрат на кондиционирование. Продолжительность периодов с наиболее высокой температурой увеличится.

11.2. Показатели затрат энергии на обогрев и охлаждение зданий

Показатели затрат энергии на обогрев в холодный и охлаждение зданий в теплый период имеют большое практическое значение. Были рассчитаны непосредственно энергетические затраты в ккал/м² · час и косвенная характеристика – индекс потребления энергии (градусодни) на обогрев и охлаждение зданий (Справочник ..., 2003, 2005).

Индекс потребления топлива представляет собой сумму отрицательных отклонений средней суточной температуры каждого дня месяца (года) от 18,3°C. Индекс вычисляется для каждого месяца каждого года, но год начинается не с января, а с июля. Температура 18,3°C является порогом комфортности. Если температура ниже этого порога, то следует обогревать помещение. Если же погода жаркая, то требуется охлаждать помещение. Расходы на охлаждение оцениваются индексом охлаждения. Он представляет собой сумму положительных

отклонений средних суточных температур от 18,3°C. Оба индекса служат характеристикой затрат энергии на обогревание и охлаждение и могут вычисляться за любой отрезок времени — месяц, сезон, год. Индексы нагревания и охлаждения получили распространение в США, где они включаются в справочные пособия (Handbook, 1985).

Рассматриваемые показатели имеют ярко выраженный годовой ход. Наибольшие затраты тепловой энергии (ТЭ) на обогрев зданий приходится на период ноябрь–март с максимумом в январе. Так, в январе среднегодовое значения затрат ТЭ на обогрев зданий меняются на территории Среднего Поволжья от 1154 (ст. Кирс) до 982 (ст. Ульяновск) ккал/м² час (табл. 11.3). Среднегодовые затраты энергии на обогрев зданий находятся в пределах 4656–5866 ккал/м² · час.

Данные табл. 11.4, приведенные для ст. Самара, ОГМС, свидетельствуют о значительном диапазоне в затратах тепловой энергии на отопление зданий в рассматриваемый период 1966–2004 гг. В холодные зимы затраты ТЭ на обогрев значительно превышают аналогичные затраты в теплые зимы. Так, максимальные затраты ТЭ почти в 2 раза превышают минимальные. Поскольку температурный режим на территории региона не столь однороден, то и затраты тепла на обогрев зданий в северных пунктах больше, чем в южных.

В летний период, наоборот, энергия потребляется на охлаждение зданий, но эти затраты составляют незначительную долю от затрат энергии на отопление. В табл. 11.5 и 11.6 представлены данные о продолжительности охлаждающего периода для ряда станций и соответствующих затратах энергии.

Продолжительность охлаждающего периода возрастает с севера на юг. Наибольшая его величина на ст. Авангард с 3 июня по 21 августа, а наименьшая на ст. Глазов 3 июля — 24 июля. Как видно, в июле величина тепловой энергии, затрачиваемая на охлаждение зданий, изменяется от 25 (ст. Кирс) до 90 ккал/м² · час (ст. Самара и Авангард). Годовые значения затрат энергии на охлаждение зданий (в период июнь — август) находятся в пределах 44–220 ккал/м² · час.

Следует отметить исключительно жаркое лето 2010 г., когда на обширной территории Среднего Поволжья в период апрель–август установилась рекордно высокая температура, что потребовало дополнительных затрат электроэнергии на кондиционирование.

Таблица 11.3

Затраты тепловой энергии на обогрев типовых зданий (ккал/м² час) за 1966–2004 гг.

Станция	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Год
Лальск	1129	919	701	379	144	27	4	34	177	452	748	1002	5715
Кирс	1154	950	722	375	139	26	4	35	177	473	773	1038	5866
Шабалино	1088	898	690	335	106	18	2	25	154	437	720	983	5456
Киров, АМСГ	1088	896	678	326	99	16	2	22	143	435	722	982	5409
Яранск	1069	910	717	316	82	13	1	16	127	403	692	955	5303
Кильмезь	1052	891	695	329	80	15	1	16	130	410	737	979	5335
Глазов	1148	965	747	368	108	18	2	25	154	451	760	1036	5782
Ижевск	1115	931	725	333	86	14	1	17	130	424	734	1008	5518
Морки	1055	894	701	307	71	11	1	13	116	392	687	953	5201
Чебоксары	1044	890	709	305	58	11	1	11	109	394	694	958	5193
Алатырь	1016	868	692	269	52	7	0	8	97	371	665	925	4972
Казань	1033	875	679	278	56	8	0	8	93	362	664	929	4985
Елабуга	1063	893	677	280	68	8	0	8	97	373	678	963	5101
Чистополь	1040	907	734	322	66	10	0	10	103	381	729	972	5275
Чуланово	1080	938	749	278	50	6	0	7	92	365	774	962	5201
Бугульма	1099	931	748	319	74	13	1	15	117	412	727	994	5449
Ульяновск	982	871	695	260	46	5	0	5	82	354	667	916	4884
Канай	984	851	668	221	33	3	0	4	73	321	613	885	4656
Серноводск	1063	906	716	256	43	6	0	6	80	352	666	949	5042
Самара	1012	860	664	222	32	4	0	3	64	317	625	904	4706
Авангард	1058	921	725	234	33	3	0	3	66	331	643	940	4957

Затраты тепловой энергии на обогрев и затраты энергии на охлаждение типовых зданий
(Ккал на 1 кв.м в час) за 1966–2004 гг. (Самара, ОГМС)

Затраты энергии	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Год
	На обогрев												
Среднее	1012	860	664	222	32	4	0	3	64	317	625	904	4706
Минимальное	741	558	446	60	2	0	0	0	4	150	482	696	3687
Максимальное	1449	1094	868	429	122	28	2	24	177	487	888	1249	5729
	На охлаждение												
	Среднее	0	0	0	0	18	64	90	44	4	0	0	220
	Минимальное	0	0	0	0	0	2	14	1	0	0	0	45
	Максимальное	0	0	0	7	78	189	200	162	41	0	0	453

Начало охладительного периода 25 июня. Окончание охладительного периода 30 июля

Таблица 11.4. б

Индекс потребления энергии (градусолни) на обогрев и охлаждение зданий
по месяцам за 1966–2004 гг. (Самара, ОГМС)

Значение индекса	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	год
	На обогрев												
Среднее	909	792	675	331	126	41	13	41	161	395	615	827	4925
Минимальное	711	569	512	128	39	0	0	2	84	250	504	676	4238
Максимальное	1238	979	824	501	252	108	50	96	292	518	824	1111	5776
	На охлаждение												
	Среднее	0	0	2	25	72	107	66	12	0	0	0	284
	Минимальное	0	0	0	1	7	29	8	0	0	0	0	109
	Максимальное	0	0	19	90	180	200	183	62	0	0	0	494

Таблица 11.5

Начало, окончание и продолжительность охладительного периода

Станция	Начало	Окончание	Продолжительность
Лальск	30 июня	28 июля	29
Кирс	5 июля	28 июля	24
Шабалино	1 июля	28 июля	28
Киров, АМСГ	25 июня	30 июля	36
Яранск	26 июня	30 июля	35
Кильмезь	15 июня	6 августа	53
Глазов	3 июля	24 июля	22
Ижевск	22 июня	31 июля	40
Морки	23 июня	31 июля	39
Чебоксары	13 июня	8 августа	57
Алатырь	14 июня	7 августа	55
Казань	11 июня	12 августа	63
Елабуга	11 июня	11 августа	62
Чистополь	14 июня	7 августа	55
Чулпаново	14 июня	7 августа	55
Бугульма	15 июня	1 августа	48
Ульяновск	11 июня	9 августа	60
Канадей	9 июня	17 августа	70
Серноводск	6 июня	18 августа	74
Самара	3 июня	20 августа	79
Авангард	3 июня	21 августа	80

Таблица 11.6

Затраты энергии на охлаждение типовых зданий (ккал/м² · час) за 1966–2004 гг.

Станция	Месяцы					Год
	V	VI	VII	VIII	IX	
Лальск	1	14	26	5	0	45
Кирс	2	13	25	4	0	44
Шабалино	2	16	31	8	0	57
Киров, АМСГ	4	25	43	12	0	84
Яранск	3	21	39	10	0	73

Кильмезь	5	30	47	12	1	94
Глазов	4	25	46	17	1	92
Ижевск	5	28	44	14	1	92
Морки	4	26	43	12	0	86
Чебоксары	7	31	51	19	1	109
Алатырь	8	30	47	20	1	106
Казань	9	40	61	24	1	135
Елабуга	8	39	64	20	1	132
Чистополь	6	33	51	14	1	105
Чулпаново	6	32	51	17	1	109
Бугульма	7	30	44	18	2	100
Ульяновск	8	42	56	19	2	127
Канадей	10	46	68	28	2	153
Серноводск	14	47	70	33	3	168
Самара	18	64	90	44	4	220
Авангард	15	62	90	45	5	217

Распределение во времени и по территории Среднего Поволжья индекса потребления энергии (градусодни) на обогрев и охлаждение зданий по своему характеру полностью совпадает с ранее рассмотренной энергетической характеристикой и представлено в табл. 11.7.

11.3 Метеорологические условия горимости леса

Пожароопасная обстановка является следствием некоторого сочетания условий погоды. Преимущественный вклад в создание этой обстановки вносят температурный режим и продолжительность периода без осадков. Большое значение для создания пожароопасных условий имеют также влажность почвы и сила ветра. Оценки разных классов пожарной опасности выполняются на основе расчетов индексов пожароопасности. Наибольшее распространение в России получили индексы пожароопасности (горимости) Нестерова (Школьник и др., 2008). В работе (Мохов, Чернокульский, Школьник, 2006) потенциал пожароопасности I_F определяли по метеорологическим данным согласно:

Таблица 11.7 а

Индекс потребления энергии (градусодни) на обогрев зданий по месяцам за 1966–2004 гг.

Станция	Январь			Апрель			Июль			Октябрь			Год		
	сред-нее	мин.	макс.	сред-нее	мин.	макс.	сред-нее	мин.	макс.	сред-нее	мин.	макс.	сред-нее	мин.	макс.
Лальск	1014	784	1292	474	349	633	62	9	150	504	363	606	6089	5224	7104
Киров, АМСГ	968	785	1263	426	285	603	43	3	106	488	365	572	5694	5115	6674
Ижевск	982	794	1325	427	250	625	36	3	104	476	347	585	5703	5086	6650
Чебоксары	915	721	1216	400	252	586	28	0	79	448	342	544	5337	4766	6321
Казань	923	713	1243	383	201	577	23	1	78	430	309	535	5236	4601	6242
Ульяновск	876	723	1152	366	185	531	14	0	57	422	308	522	5073	4491	5883
Самара	909	711	1238	331	128	501	13	0	50	395	250	518	4925	4238	5776

Таблица 11.7 б

Индекс потребления энергии (градусодни) на охлаждение зданий по месяцам за 1966–2004 гг.

Станция	Май			Июнь			Июль			Август			Год		
	сред-нее	мин.	макс.	сред-нее	мин.	макс.	сред-нее	мин.	макс.	сред-нее	мин.	макс.	сред-нее	мин.	макс.
Лальск	2	0	17	21	0	75	38	0	117	11	0	39	72	12	168
Киров, АМСГ	7	0	38	33	1	96	59	4	163	23	1	113	123	21	283
Ижевск	8	0	45	37	0	98	61	4	160	26	1	93	135	29	308
Чебоксары	11	0	47	38	2	120	66	12	164	33	0	162	151	30	357
Казань	14	0	51	49	4	135	79	13	186	40	1	167	187	49	375
Ульяновск	10	0	58	42	4	125	70	14	159	30	0	100	156	40	371
Самара	25	1	90	72	7	180	107	29	200	66	8	183	284	109	494

$$I_F = \sum (T_M - T_d) \cdot T_M,$$

где T_M — максимальная температура в °С, T_d — температура точки росы (зависящая от относительной влажности и температуры) в °С, суммирование проводится для тех дней, когда количество осадков P за сутки не превышает 3 мм. При $P > 3$ мм величина I_F зануляется. Принято разбивать значения потенциала пожароопасности на 5 диапазонов. Условия с $I_F < 300$ (режим I) считаются непожароопасными, а в диапазонах 300-1000, 1000-4000, 4000-10000 и больше 10000 — соответственно режимы с малым (II), умеренным (III), высоким (IV) и экстремальным (V) уровнем пожароопасности.

Предпринимаются попытки оценки пожароопасной обстановки в лесах России при ожидаемом потеплении климата в XXI веке (Малевский-Малевиц, Молькентин, Надежина, Шкляревич, 2005). В этой работе отмечается, что пожароопасные ситуации формируются под воздействием особых погодных условий и поэтому необходимы сведения об изменениях вероятностных характеристик климата — в первую очередь, о вероятностях превышения критических значений температур и статистических связях температура-осадки. Используются также данные о влажности почвы, о которой современные гидродинамические модели дают сведения на основании согласованных расчетов испарения, осадков и поверхностного стока.

Наиболее распространенным критерием засушливости является гидротермический коэффициент (ГТК), предложенный Г.Т. Селяниновым:

$$ГТК = \frac{10 \cdot P}{\sum t},$$

где P — сумма осадков в миллиметрах за период с температурами выше 10°, $\sum t$ — сумма температур в градусах за то же время.

ГТК служит характеристикой увлажненности территории (влагообеспеченности). Показатель ГТК хорошо согласуется с геоботаническими зонами: ГТК 1,3-1,1 соответствует лесной; 1,0-0,8 — лесостепной; 0,8-0,6 — степной; 0,5-0,3 — полупустынной и менее 0,3 — пустынной зонам при вычислении показателя за весь вегетационный период в пределах температур выше 10°С.

Принято считать: ГТК < 0,5 — очень засушливо; 0,5 < ГТК < 1,0 — недостаточно влажно; 1,0 < ГТК < 2,0 — достаточное увлажнение; ГТК > 2 — переувлажнение.

Величины ГТК рассчитывают по данным о месячных суммах температур и осадков и находят корреляционные связи с различными критериями засушливости.

В работе (Малевский—Малевиц и др., 2005) с использованием данных метеорологических наблюдений оценена вероятность возникновения пожароопасной обстановки III и IV классов в течение пожароопасного сезона (апрель-сентябрь) для разных значений ГТК. Показано, что реализация значений ГТК < 1 обеспечивает от 42 до 50% вероятности пожароопасной обстановки, уменьшение ГТК до значений ГТК ≤ 0,4 повышает эту вероятность до 56-72%. Отмечено также, что увеличение месячной засушливости неизменно приводит к увеличению числа дней с пожароопасной обстановкой.

Модельные данные показывают, что к середине XXI века вероятность возникновения пожароопасных условий III и IV классов увеличится от 12 до 22%, а в конце века — до 30%.

Отметим, что лесные пожары возникают также от молний в результате грозовой деятельности. Так, в работе (Санников и др., 2010) показано, что в островных сосновых лесах бассейна Конды в Западной Сибири, подверженных пожарам почти исключительно от молний, установлена достоверная линейная связь их плотности с градиентом аномального геомагнитного поля. Высказано предположение, что эта закономерность носит глобальный характер и должна проявляться в любой точке суши Земного шара, особенно в местах залегания ферромагнитных минералов. В работе производились расчеты индекса горимости Нестерова с использованием ежедневных метеорологических параметров приземного слоя атмосферы. Индекс горимости характеризует пожарную опасность по условиям, которые создаются при сухой и жаркой погоде и нарастают с увеличением продолжительности периода с такими условиями (Нестеров, 1949; Шерстюков, 2003).

Анализ данных табл. 11.8 показывает, что в марте и ноябре на всей территории рассматриваемого региона горимость леса отсутствует или малая. Повторяемость класса 1 (показатель горимости Г находится в пределах 0-300) в это время на станциях колеблется в марте от 80,6

Повторяемость (%) индекса горимости по классам опасности за 1966–2004 гг.

Самара, ОГМС

Класс опасности	Горимость	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI
I	отсутствует или малая	93.4	39.6	17.5	18.8	15.9	18.2	34.3	57.0	99.2
II	средняя	6.6	26.6	20.0	25.8	26.3	24.7	24.3	21.1	0.4
III	высокая	0.0	27.6	31.5	33.3	33.4	34.2	21.1	16.1	0.4
IV	особо опасная	0.0	5.9	21.1	13.8	19.4	16.6	16.5	5.2	0.0
V	чрезвычайная	0.0	0.3	9.9	8.3	5.1	6.3	3.8	0.5	0.0

Чебоксары

Класс опасности	Горимость	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI
I	отсутствует или малая	98.3	44.5	22.0	30.4	23.8	27.3	47.4	69.0	98.6
II	средняя									
III	высокая	0.0	23.2	32.8	30.4	33.6	34.9	21.4	12.7	0.9
IV	особо опасная	0.0	2.7	19.7	10.4	10.4	8.5	6.3	0.0	0.0
V	чрезвычайная	0.0	0.0	0.7	2.5	2.6	1.5	0.0	0.0	0.0

Продолжение табл. 11.8

Морки

Класс опасности	Горимость	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI
I	отсутствует или малая	94.1	44.0	22.8	26.5	22.5	27.0	47.0	64.6	99.1
II	средняя	5.9	31.6	24.6	25.8	28.0	28.9	21.8	20.7	0.4
III	высокая	0.0	20.8	35.9	33.0	33.9	34.6	22.6	14.7	0.4
IV	особо опасная	0.0	3.7	15.7	12.7	13.2	7.6	7.8	0.0	0.0
V	чрезвычайная	0.0	0.0	1.0	1.9	2.4	2.0	0.7	0.0	0.0

ст. Киров, АМСГ

Класс опасности	Горимость	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI
I	отсутствует или малая	89.0	44.4	32.5	31.7	27.6	36.4	52.2	75.3	98.9
II	средняя	8.5	28.8	26.0	27.1	29.4	29.0	24.3	16.3	0.6
III	высокая	2.5	24.5	31.8	32.7	31.9	28.8	21.6	8.5	0.6
IV	особо опасная	0.0	2.3	9.8	8.5	10.6	4.8	1.9	0.0	0.0
V	чрезвычайная	0.0	0.0	0.0	0.0	0.5	0.9	0.0	0.0	0.0

Ижевск

Класс опасности	Горимость	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI
I	отсутствует или малая	97.2	44.8	25.0	24.4	24.2	30.5	44.7	69.0	100.0
II	средняя	2.8	31.7	28.8	28.8	28.2	28.5	24.3	14.4	0.0
III	высокая	0.0	21.4	33.5	36.4	32.6	33.1	23.9	13.1	0.0
IV	особо опасная	0.0	2.1	12.6	10.0	12.3	7.6	6.7	3.5	0.0
V	чрезвычайная	0.0	0.0	0.1	0.4	2.6	0.3	0.4	0.0	0.0

Класс опасности	Горимость	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI
I	отсутствует или малая	87.7	34.6	16.9	23.6	17.7	20.4	35.6	56.9	94.0
II	средняя	12.3	30.9	21.6	24.9	29.8	25.2	24.2	24.2	5.2
III	высокая	0.0	28.8	35.7	30.0	35.6	36.6	25.2	15.0	0.7
IV	особо опасная	0.0	5.7	21.4	15.4	15.4	16.1	14.2	3.9	0.0
V	чрезвычайная	0.0	0.0	4.5	6.0	1.4	1.6	0.8	0.0	0.0

Класс опасности	Горимость	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI
I	отсутствует или малая	94.6	45.2	21.2	23.6	21.1	26.6	45.6	69.1	99.5
II	средняя	5.4	31.1	24.7	28.5	26.3	28.2	20.5	18.2	0.0
III	высокая	0.0	20.6	34.2	34.9	38.7	35.4	23.9	12.0	0.5
IV	особо опасная	0.0	3.1	17.8	9.6	13.3	9.6	9.6	0.7	0.0
V	чрезвычайная	0.0	0.0	2.1	3.5	0.6	0.4	0.4	0.0	0.0

(ст. Канадей) до 100% (ст. Чистополь), в ноябре от 87,4 (ст. Авангард, зерносовхоз) до 100% (ст. Лальск, Шабалино и др.). Однако, начиная с апреля повторяемость индекса Г этого класса резко понижается и достигает в июле своего минимума 10,1 (ст. Авангард, зерносовхоз) – 30,5% (ст. Шабалино). Причем наименьшие значения, как и следовало ожидать, отмечается на юге региона. В теплый период (май-сентябрь) значительно возрастает повторяемость классов горимости II и III (Г меняется от 301 до 4000), когда горимость становится средней и высокой. Суммарная повторяемость этих классов колеблется на территории региона в июле (максимум) от 58% (ст. Авангард, зерносовхоз) до 67% (ст. Елабуга). Естественно, что особая опасная и тем более чрезвычайная горимость встречается чаще на юге региона. Так, повторяемость IV класса опасности (Г = 4001-10000) в мае-сентябре достигает своего максимума на ст. Серноводск (май, 27,6%), а минимума на ст. Глазов (сентябрь, 1,2%). При этом наибольшая повторяемость горимости этого класса, как правило, отмечается в мае и в южной части региона. Чрезвычайная горимость заметно возрастает с севера на юг. Так, если на севере Кировской области (например, ст.Лальск и др.), этот класс горимости себя практически не проявил, то на территории Самарской области повторяемость чрезвычайной ситуации может достигать 16% (ст. Авангард, зерносовхоз).

Таким образом, как показывает статистика и практика в весенне-летний период пожароопасность в лесах на всей территории Среднего Поволжья достаточно высокая. Примером этому может служить сложившая метеорологическая обстановка в Поволжье в апреле-мае 2010 г., когда при температурах 25-30 °С и при полном отсутствии дождя индекс горимости достиг отметки ~ 10000 и на всей территории ПФО в лесах вспыхнули пожары. Были приняты административные решения по запрещению разжигания костров вблизи лесных массивов.

Возникновению причиняющих значительный ущерб лесных пожаров способствует установившаяся на длительное время сухая и жаркая погода. Около 70% лесных пожаров возникают из-за нарушения людьми правил пожарной безопасности в лесу и лишь 8,4% от грозных разрядов. В 1994-2003 гг. в России пожарами было уничтожено 3,12 млн. га лесных насаждений, или 80% погибших от всех причин древостоев. Прямые потери от лесных пожаров в 2004 г. составили

почти 20 млрд. руб. Число учтенных лесных пожаров в России, а также число суток в году с пожароопасностью «высокой и больше» заметно увеличилось в конце XX — начале XXI века. В связи с продолжающимся потеплением климата на территории России в XXI веке ожидается увеличение числа суток с пожароопасной обстановкой средней и высокой интенсивности (Оценочный доклад. Общее резюме, 2008).

Леса занимают значительную часть территории России — около 45%. Они играют заметную роль в сохранении биоразнообразия, как накопители углерода и поставщики кислорода, а также как источник биоресурсов.

В мае-августе 2010 г. на территории Среднего Поволжья установилась жестокая засуха. Все это привело к массовой гибели посевов и многочисленным лесным пожарам, гибели десятков людей и населенных пунктов. Индекс пожароопасности Нестерова достигал уже в мае чрезвычайной отметки — 14 000, а в августе он достиг значения 24 000. Это небывалые показатели. Индекс засушливости Д.А. Педя также оказался рекордным (5.5).

11.4. Показатели биоклимата

Биоклимат территории — важный природный ресурс, от состояния которого зависит комфортность ощущений и самочувствие человека. Биоклиматическая оценка выявляет медико-климатический потенциал территории для рационального использования ландшафтно-климатических условий в здравоохранении и рекреации. Атмосферные условия оказывают влияние на общественную жизнь людей, но роль климата при этом не проявляется так четко и размеры влияния не определяются так легко, как в случае зависимости экономики и состояния здоровья людей от погоды. Комплексный ресурсный подход к изучению режима погоды включает исследования в первую очередь продуктивности климата, а также уменьшения вреда, наносимого экономике и человеку неблагоприятными погодными воздействиями. Исследуя влияние изменений метеорологических условий на адаптационные механизмы человеческого организма, можно решить глобальную проблему человечества сохранения жизни и здоровья человека в условиях ухудшения среды обитания (Климатические ресурсы..., 005).

Биоклиматические ресурсы представлены применительно к человеку и характеризуют связь климата с его тепловым состоянием, здоровьем, особенностями рекреации и санитарно-гигиенической оценкой в естественных условиях. Поэтому для характеристики климата используются различные комплексные метеорологические показатели (температура — влажность воздуха, температура — скорость ветра, температура — атмосферное давление, влажность воздуха — атмосферное давление), отражающие тепловое состояние человека и зоны комфорта, различные для разных групп населения. Под зоной комфорта понимают пределы метеорологических показателей, внутри которых большинство испытуемых людей отмечают тепловой комфорт. Последний определяется как комплекс метеорологических условий, при котором терморегуляторная система организма находится в состоянии наименьшего напряжения, создавая предпосылки для высокой работоспособности, а протекание всех остальных функций происходит на уровне, наиболее благоприятном для отдыха и восстановления сил организма после предшествующей нагрузки. Субкомфортные или допустимые условия это сочетание метеорологических величин, которые могут вызвать напряжение физиологических реакций терморегуляции, не выходящие за пределы адаптационных возможностей. При этом не возникает нарушений в состоянии здоровья, не ухудшается самочувствие и не понижается работоспособность. Чувствительность к неблагоприятным условиям погоды особенно велика у больных людей и проявляется в ощущении дискомфорта, раздражительности, иногда в обострении патологических процессов (Русанов В.И..., 1981; Энциклопедия..., 2005).

Наиболее существенным по значимости вызываемых физиологических реакций является воздействие погоды и климата на тепловое состояние организма человека. Именно тепловой комфорт или дискомфорт в большей мере определяют здоровье, самочувствие человека, его работоспособность, которая заметно снижается при значительном отклонении тепловых условий от оптимума. Для оценки теплового состояния человека разработан ряд биоклиматических показателей, которые позволяют определить уровень его тепловой или холодовой нагрузки в летнее и зимнее время года (Климатические ресурсы..., 2005).

Существуют многочисленные подходы к оценке комфортного состояния человека при воздействии на него комплекса метеорологических показателей. Наиболее часто используется эквивалентно-эффективная температура (ЭЭТ), учитывающая комплексное влияние на человека температуры, влажности воздуха и скорости ветра (Бокша В.Г., Богутский Б.В..., 1980). Исследования показали, что изменения ряда физиологических функций организма идут параллельно с изменением ЭЭТ. Зона комфорта по этому показателю находится в интервале 16,7-20,7°C. Расчеты ЭЭТ производились по формуле А. Миссенарда (Андреев..., 2007):

$$ET = 37 - \frac{37 - t}{0.68 - 0.0014f + \frac{1}{1.76 + 1.4v^{0.75}}} - 0.29t(1 - \frac{f}{100}), \quad (11.3)$$

где ET – ЭЭТ, t – температура воздуха, °C; f – относительная влажность, %; v – скорость ветра, м/с. Для оценки уровня комфорта используются группы теплоощущений человека с двенадцати- и шести-градусными ступенями ЭЭТ (табл. 11.10), составленные по данным Е.Г.Головиной и М.А.Трубиной (1997).

Таблица 11.10

Классификация тепловой чувствительности по значениям эквивалентно-эффективной температуры

Интервал эквивалентно-эффективной температуры, °C	Уровень комфорта
>30	тепловая нагрузка сильная
24,1...30	тепловая нагрузка умеренная
18,1...24	комфортно-тепло
12,1...18	комфорт (умеренно тепло)
6,1...12	прохладно
0,1...6	умеренно прохладно
0...-6	очень прохладно
-6,1...-12	умеренно холодно
-12,1...-18	холодно
-18,1...-24	очень холодно
<-24	угроза обморожения

Результаты расчетов ЭЭТ по 60 станциям Среднего Поволжья за период 1966–2004 гг. показывают, что на территории региона за холодный период (с ноября по март) ЭЭТ находится в пределах от -26,7° до -18,4°C, что характеризует зимние условия на исследуемой территории как «очень холодно» и «угроза обморожения» (рис. 11.1 (а). На большей части региона с ноября по март наблюдаются теплоощущения «очень холодно». Почти на всей территории Удмуртии, в северных, северо-восточных и юго-восточных районах Кировской области, на севере, северо-востоке, юго-западе, юге и юго-востоке РТ, согласно классификации ЭЭТ, расположена зона, где начинается «угроза обморожения». Наименьшие значения эквивалентно-эффективной температуры отмечаются в пунктах Бугульма ($ET=-26,7^\circ\text{C}$), находящихся в юго-восточной части РТ, Фаленки, Уржум ($ET=-26,5^\circ\text{C}$) на востоке и юго-востоке Кировской области. Пространственное распределение значений ЭЭТ на территории выявляет области, где данный показатель несколько выше большинства. К таковым относятся станции, расположенные на юге и востоке Ульяновской области (Канадей, Сенгилей).

Многолетние январские среднемесячные значения ЭЭТ меняются на исследуемой территории от -32,5° до -22,6°C. Данные пространственного распределения ET позволяют сделать вывод о том, что «угроза обморожения» устанавливается практически на всей территории Среднего Поволжья (рис. 11.1(б)). Исключением являются вышеупомянутые станции: Канадей и Сенгилей Ульяновской области, Большие Березники (Мордовия), где теплоощущения оцениваются как «очень холодно». Наиболее дискомфортные погодные условия по рассматриваемому биоклиматическому показателю отмечаются в январе в тех же пунктах, что и за весь холодный период.

Анализ полученных данных показывает, что на территории Среднего Поволжья значения ЭЭТ в теплый период (май-сентябрь) изменяются от 4,7° до 11,6°C, что характеризует биоклиматические условия как «умеренно прохладно», «прохладно». Из рис., 11.2 (а) видно, что расположение изолиний эквивалентно-эффективной температуры имеет практически зональный характер. В северной и восточной районах Кировской области населенные пункты находятся в зоне «умеренно прохладно». На остальной, то есть на большей части, исследуемой территории теплоощущения в теплый период характеризуются как «прохладно».

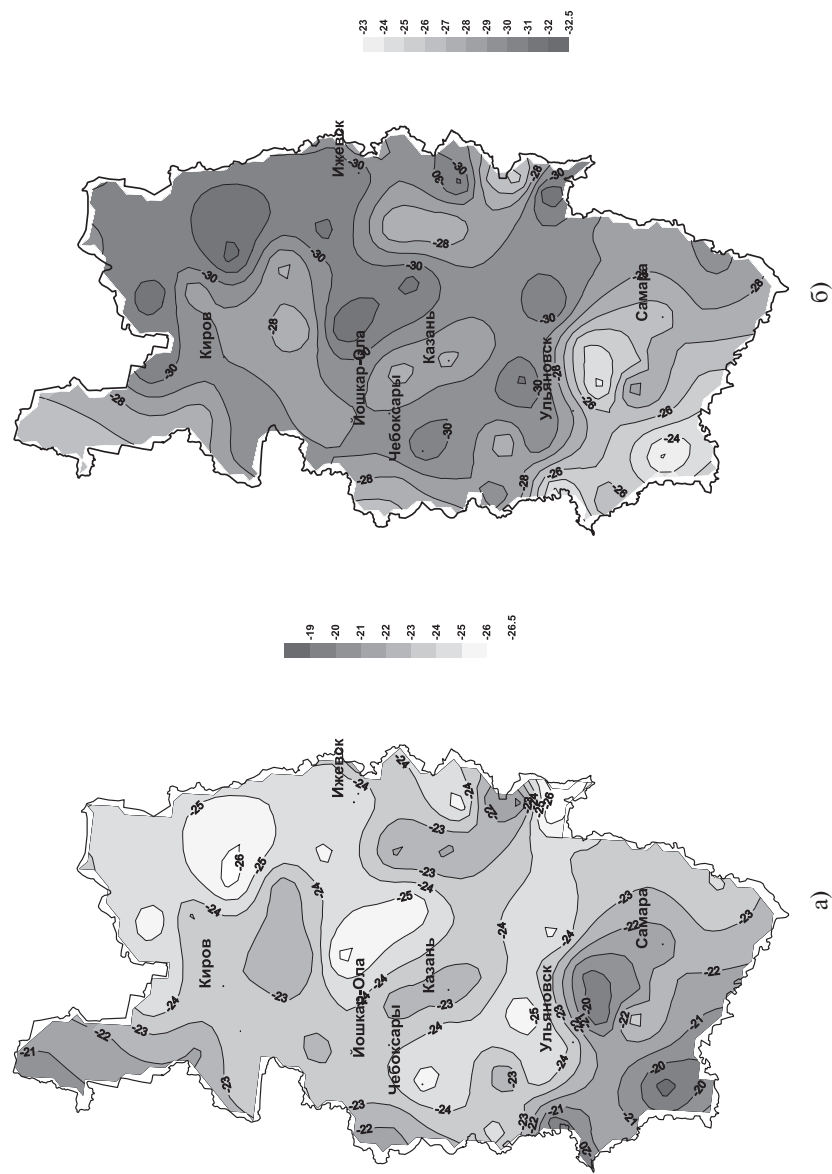


Рис. 11.1. Эквивалентно-эффективная температура в холодный период года (а) и в январе (б)

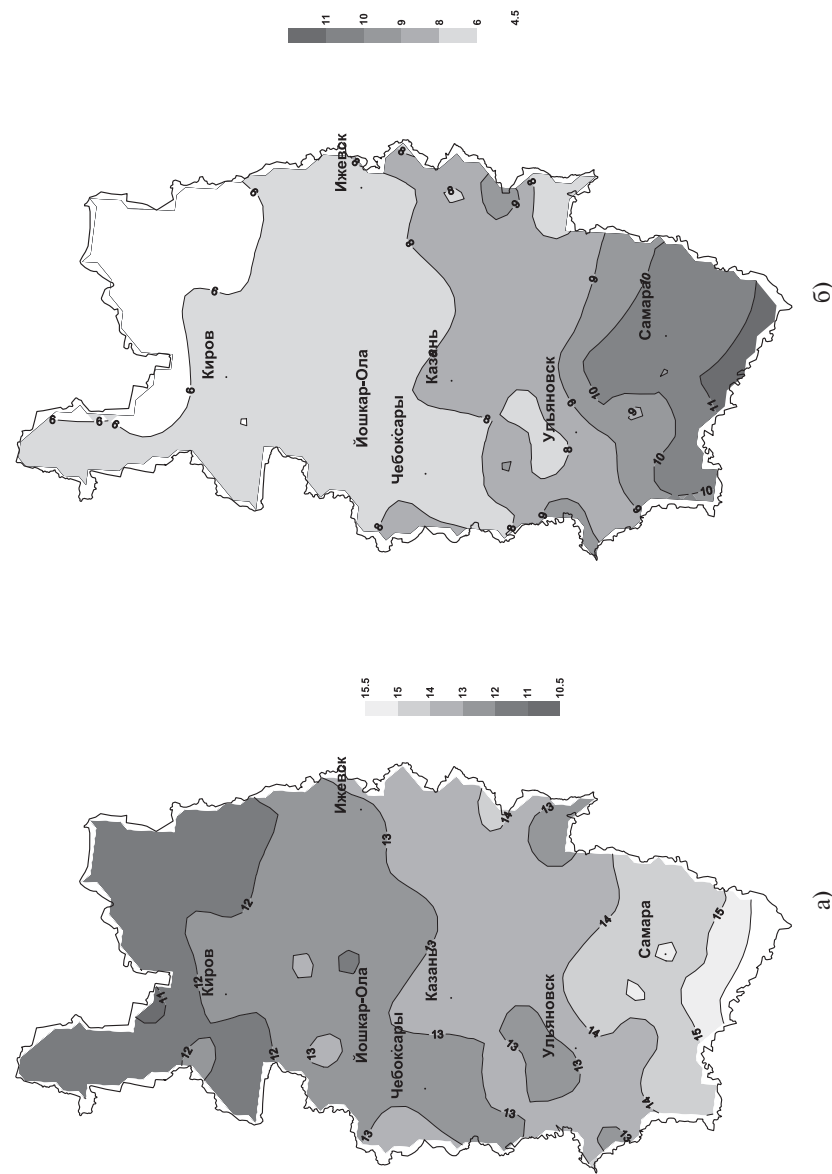


Рис. 11.1. 11.2. Эквивалентно-эффективная температура в теплый период года (а) и в июле (б)

Самые комфортные погодные условия за данный период наблюдаются на юге Самарской области (Тольятти, Безенчук, $ET=10,9^{\circ}\text{C}$ и 11°C соответственно).

Многолетние июльские среднемесячные значения эквивалентно-эффективной температуры меняются на исследуемой территории от $10,6^{\circ}$ до $15,3^{\circ}\text{C}$. Из рис. 11.2(б)) видно, что севернее изолинии $ET=12^{\circ}\text{C}$, проходящей по центральной части Кировской области, по северной границе Удмуртии, а также на станциях Уржум (юго-восток Кировской области), биоклиматические условия оцениваются как «прохладно». Южнее указанной территории, то есть на большей части Среднего Поволжья теплоощущения характеризуются как «комфорт (умеренно тепло)». Минимальные и максимальные значения рассматриваемого биоклиматического показателя сохраняются на тех же станциях, что и за весь теплый период.

С целью оценки тенденций изменения значения ЭЭТ во времени рассчитывались коэффициенты наклона линейного тренда (КНЛТ) и коэффициенты его детерминации R^2 для каждой станции. Величина R^2 показывает, каков вклад линейного тренда в общую изменчивость ET . Тенденция изменения рассматриваемого биоклиматического показателя считалась статистически значимой, если ее уровень достоверности был равен 95% ($P=0,95$). При объеме выборки 39 лет это соответствует величине $R^2=10\%$.

За холодный период года значения КНЛТ эквивалентно-эффективной температуры почти на всей территории Среднего Поволжья имеют положительный знак и меняются от $-0,13$ до $2,4^{\circ}\text{C}/10\text{лет}$. Заметное улучшение биоклиматических условий в течение зимы отмечается на станциях: Новый Торъял (Марий Эл), Самара, Казань, (КНЛТ ЭТ от $2,16$ до $2,4^{\circ}\text{C}/10\text{лет}$, R^2 около 63-68%). Статистически незначимы за весь период с ноября по март величины КНЛТ рассматриваемого биоклиматического показателя на станциях Дрожжаное (юго-запад РТ) и Вятские Поляны (юго-восток Кировской области) ($-0,13$ и $0,38^{\circ}\text{C}/10\text{лет}$ соответственно). На остальной территории Среднего Поволжья значения КНЛТ статистически значимы, что свидетельствует об улучшении биоклиматических условий в холодный период года.

В январе величина КНЛТ ЭЭТ имеет положительный знак на всей территории и изменяется от $1,1^{\circ}$ до $4,0^{\circ}\text{C}/10\text{лет}$. Полученные значения

КНЛТ ET для января несколько выше, чем в другие месяцы. Коэффициент детерминации R^2 в ряде случаев достигает 50-60%, что говорит о большей статистической достоверности выводов для данного месяца, что в свою очередь свидетельствует об улучшении биоклиматических условий в январе. Особенно это заметно на станциях Новый Торъял, Самара, Арск (северо-запад РТ). Величины КНЛТ ET на перечисленных станциях находятся в пределах от $3,55$ до $4,0^{\circ}\text{C}/10\text{лет}$. Вклад линейного тренда в общую изменчивость рассматриваемого биоклиматического показателя при этом составляет 47-58%. Статистически незначимы в январе величины КНЛТ ЭЭТ лишь на станции Дрожжаное ($1,1^{\circ}\text{C}/10\text{лет}$).

В теплый период величина КНЛТ ET на всей территории Среднего Поволжья изменяется от $-0,22$ до $0,95^{\circ}\text{C}/10\text{лет}$. На большей части исследуемой территории значения КНЛТ рассматриваемого показателя статистически значимы, поэтому можно сделать вывод о том, что в июле погодные условия становятся более благоприятными. Особенно это заметно на станциях, Опарино (северо-запад Кировской области) и Новый Торъял. Величины КНЛТ ЭЭТ в перечисленных пунктах находятся в пределах от $0,93$ до $0,95^{\circ}\text{C}/10\text{лет}$. Вклад линейного тренда в общую изменчивость рассматриваемого биоклиматического показателя при этом составляет 39-43%. Статистически незначимы в июле величины КНЛТ ET от $-0,22$ до $0,35^{\circ}\text{C}/10\text{лет}$. К таковым в данном месяце относятся пункты, расположенные на большей части в южных и восточных районах Самарской области, в центральной части Удмуртии, на севере и юго-востоке Кировской области, на юге Ульяновской области, а также станции Дрожжаное.

В целом, за год значения КНЛТ ЭЭТ на территории среднего Поволжья меняются от $-0,21$ до $1,63^{\circ}\text{C}/10\text{лет}$. Заметное улучшение биоклиматических условий в течение года отмечается на вышеупомянутых станциях: (КНЛТ ET от $1,45$ до $1,63^{\circ}\text{C}/10\text{лет}$, R^2 около 55-65%). Статистически незначимы за весь год величины КНЛТ рассматриваемого биоклиматического показателя от $-0,21$ до $0,37^{\circ}\text{C}/10\text{лет}$. К таковым относятся следующие станции: Дрожжаное, Вятские Поляны, Селты и Ижевск (западный и центральный районы Удмуртии). На остальной территории округа значения КНЛТ ЭЭТ статистически значимы и имеют положительный знак. Значение коэффициента детерминации

R^2 для КНЛТ с положительным знаком значительно выше, чем для тех же отрицательных, что говорит о большей статистической достоверности выводов для изменений биоклиматических условий на территории Среднего Поволжья в сторону улучшения.

Результаты расчетов ЭЭТ по 60 станциям Среднего Поволжья за период 1966 – 2004 гг. показывают, что эквивалентно-эффективная температура имеет хорошо выраженный годовой ход: в январе наблюдаются наименьшие значения в пределах от $-32,5^\circ$ (Фаленки) до $-22,6^\circ$ (Канадей), а в июле наибольшие, которые на территории меняются от $10,6^\circ$ (Мураши) до $15,3^\circ\text{C}$ (Тольятти, Безенчук). При этом в холодный период разброс значений ЭЭТ заметно больше, чем в теплый (табл. 11.11).

Таблица 11.11

Годовой ход среднемесячных значений ЭЭТ ($^\circ\text{C}$) на некоторых станциях Среднего Поволжья за период 1966–2004 гг.

Станция	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Фаленки	-32,5	-29,3	-19,3	-8,2	1,1	8,2	11,4	7,2	-0,9	-11,5	-21,9	-29,5
Канадей	-22,6	-22,1	-14,6	-1,1	7,4	12,5	14,9	12,7	5,6	-3,6	-12,7	-20,0
Мураши	-30,8	-27,6	-17,9	-7,6	0,4	7,3	10,6	6,3	-1,2	-11,2	-20,6	-27,7
Безенчук	-26,3	-25,6	-17,2	-1,9	7,8	13,1	15,3	12,9	5,8	-4,5	-15,0	-23,3
Тольятти	-25,7	-24,4	-15,9	-2,0	7,4	12,8	15,3	13,0	5,9	-4,7	-15,1	-22,5

Ввиду того, что рассматриваемая территория находится в умеренном климатическом поясе, отличающемся активной циркуляцией атмосферы, температурные условия характеризуются большой изменчивостью от года к году. Поэтому ежемесячные значения ЭЭТ различных лет значительно разнятся друг от друга. Так, например, по данным станции Арск в январе 1969 г. ЭЭТ достигла $-39,2^\circ$, а в январе 2001 г. лишь $-16,0^\circ$, в июле диапазон изменений заметно уже – от $9,3^\circ$ (1968 г.) до $18,5^\circ\text{C}$ (2002 г.) (рис. 11.3).

Если взять за основу классификации теплоощущения человека критерии предложенные С.С. Андреевым (2007), то «комфортно-тепло» ($12,1\text{--}24^\circ\text{C}$) в многолетнем осреднении на территории Среднего Поволжья только в июле. Исключением являются северные районы

Кировской области и Удмуртии, где в это время «прохладно». В зимние месяцы на всей территории теплоощущения от «очень холодно» до «начинается угроза обморожения». Среднегодовые значения ЭЭТ почти на всей исследуемой территории соответствуют теплоощущению «умеренно холодно», за исключением Самарской и Ульяновской областей, южной части Чувашии, северных и западных районов Марий Эл, центральных районов Кировской области и Татарстана, где «очень прохладно».

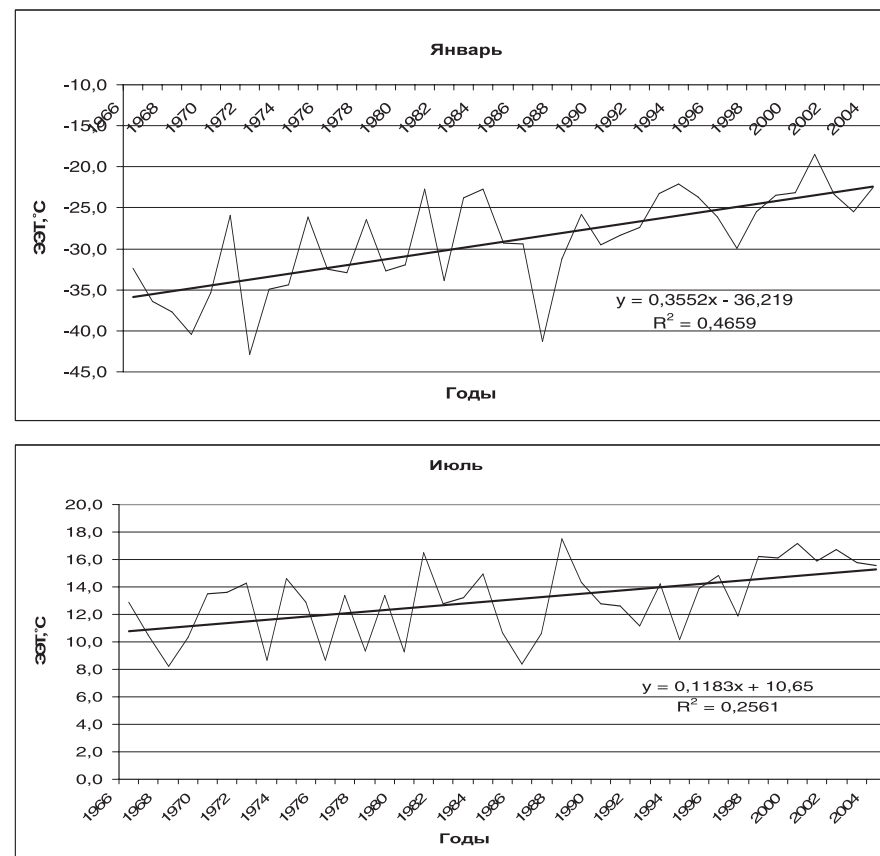


Рис. 11.3. Межгодовые изменения и линейные тренды средней январской и июльской эквивалентно-эффективной температуры на станции Арск

Для биоклиматической оценки холодного периода также существуют методы оценки суровости погоды. Суровость погоды в данном случае рассматривается не как объективное свойство погоды, а как влияние её на охлаждение человека, ограничивающее пребывание его на открытом воздухе и обуславливающее потребность в одежде. Она в основном определяется низкой температурой воздуха и скоростью ветра, которые особенно влияют на охлаждение незащищенных частей тела и на органы дыхания.

Для этих целей наиболее часто используется метод Бодмана, который позволяет определять в баллах степень суровости погоды по формуле:

$$S = (1 - 0,04t)(1 + 0,27v), \quad (11.4)$$

где S — индекс суровости (баллы), t — температура воздуха ($^{\circ}\text{C}$), v — скорость ветра (м/с).

Согласно шкале Бодмана, при $S < 1$ зима несуровая, мягкая; 1-2 — зима малосуровая; 2-3 — умеренно суровая; 3-4 — суровая; 5-6 — жестко суровая; 6 — крайне суровая.

Рассчитывались ежедневные значения индекса суровости погоды по Бодману с октября по апрель для каждой из станций, находящихся на территории Среднего Поволжья. Многолетние среднемесячные значения в январе (максимальные значения) меняются в пределах от 1,9 (Канадей, Сенгилей — юг и восток Ульяновской области) до 2,5 (Фаленки, Уржум, Вятские Поляны — восток и юго-восток Кировской области, Бугульма, Дрожжаное, Тетюши — юго-восток и юго-запад РТ). Естественно, что преобладают мало суровые и умеренно суровые условия погоды, а суровые условия формируются лишь в зимние месяцы.

Заметим, что КНЛТ, рассчитанные для индекса Бодмана, имеют отрицательный знак (хотя его значения невелики), что также подтверждает вышеизложенное заключение о смягчении суровости климата на выше указанных метеорологических станциях.

Заключение

Проблема современных изменений климата Земли в целом и ее отдельных регионов по-прежнему остается актуальной как для специалистов, так и широкой научной общественности в связи с важными последствиями их проявления в природной и социально-экономической сферах.

В 2007 г. Межправительственная группа экспертов по изменению климата (МГЭИК) представила мировому сообществу Четвертый оценочный доклад, в котором дан анализ изменений климата в современный период и его прогноз на XXI в. Особое внимание уделено проблеме адаптации к быстро меняющимся климатическим условиям, оценке рисков, обусловленных учащением экстремальных погодных и климатических явлений, приносящих значительный ущерб как различным отраслям экономики, так и населению. Росгидромет также опубликовал свой Оценочный доклад по проблеме изменений климата применительно к обширной территории Российской Федерации.

Вместе с тем в сфере специалистов и практиков проявляется большой интерес к региональным особенностям изменений климата. В представленной вниманию читателей книге главное внимание уделено динамике климатических показателей на обширной территории Среднего Поволжья за последние десятилетия. Представлены данные об изменениях температуры, давления и влажности воздуха, скорости ветра, опасных явлениях погоды, наносящих существенный ущерб экономике области. Важное внимание уделено изменению климатических ресурсов Среднего Поволжья — тепловых и влажностных, агро- и биоклиматических и т.д., которые можно использовать с большой пользой, включая укрепление здоровья населения. Приведены расчеты характеристик отопительного периода расходов энергии на отопление и охлаждение зданий и т.п.

Авторами показано, что в условиях Среднего Поволжья в последние десятилетия произошли заметные климатические изменения, проявившиеся в росте зимне-весенних температур, увеличении продолжительности безморозного и вегетационного периодов, в росте сумм активных температур и осадков, сокращении отопительного периода, что в целом благоприятно для экономики региона. Мы надеемся, что учет климатических ресурсов окажется полезным при разработке стратегии устойчивого развития Среднего Поволжья.

Литература

1. Айзеништат Б.А. Методы расчета некоторых биоклиматических показателей // Метеорология и гидрология. — 1964. — № 12. — С. 9–16.
2. Акентьева Е.М. Климатические ресурсы для энергетики // Энциклопедия климатических ресурсов Российской Федерации. — СПб.: Гидрометеиздат, 2005. — С. 61–73.
3. Александрова А.А. Климатологическое обеспечение теплового режима зданий на северо-западе Европейской территории России. Автореферат на соискание ученой степени кандидата географических наук. — СПб., 2006. — 25 с.
4. Алисов Б.П. Климат СССР. — М.: Изд-во МГУ, 1956. — 127 с.
5. Андреев С.С. Экология человека. — Ростов н/Д: Издатель Турова Е.А., 2007. — 248 с.
6. Андреев С.С., Андреева Е.С. Краткая биоклиматическая характеристика Ростовской области // Метеорология и гидрология. — 2004. — № 8. — С. 53–60.
7. Атлас «Тартарика». — Казань, 2005. — 450 с.
8. Атлас Республики Татарстан. — М.: Картография, 2005. — 215 с.
9. Бедрицкий А.И. Результаты исследований изменений климата России. — М., 2005.
10. Берлянд Т.Г. Распределение солнечной радиации на континентах. — Л.: Гидрометеиздат, 1961. — 227 с.
11. Берлянд Т.Г., Дворкина М.Д. Суммарное солнечное излучение и его междугодовая изменчивость на континентах северного полушария // Труды ГГО. — 1985. — Вып. 488. — С. 3–20.
12. Бокша В.Г., Богуцкий Б.В. Медицинская климатология и климатотерапия. — Киев: Здоровье, 1980. — 262 с.
13. Будыко М.И. Тепловой баланс земной поверхности. — Л.: Гидрометеиздат, 1956. — 254 с.
14. Бутьева И.В., Шейнова Т.Г. Методические вопросы интегрального анализа медико-климатических условий. Комплексные биоклиматические исследования. — М., 1988. — С. 80–84.

15. *Варшанина Т.П., Митусов Д.В.* Биоклиматическое районирование Адыгеи // Известия РАН. — Сер.: Геогр. — 2006. — № 4. — С. 115–121.
16. *Верещагин М.А.* Николай Васильевич Колобов. — Казань: Изд. Казан. ун-та, 2001. — 16 с.
17. *Верещагин М.А.* О влиянии Куйбышевского и Волгоградского водохранилищ на метеорологические условия прибрежной зоны // 150 лет метеорологической обсерватории Казан. гос. ун-та. — Казань: Изд-во Казан. ун-та, 1963. — С. 152–159.
18. *Виноградова В.В.* Воздействие глобального потепления на суровость климата северных и восточных территорий России в 80-е гг. XX века // Известия РАН. — Сер.: Геогр. — 1997. — № 2. — С. 126–132.
19. *Воскресенский С.С.* Геоморфология СССР. — М.: Высш. шк., 1968.
20. *Горев Г.В., Заде Г.О., Кружевская И.В.* Оценка климатической предрасположенности территории Томской области к возникновению лесных пожаров // Оптика атмосферы и океана. — 2004. — Т. 17. — № 7. — С. 21–32.
21. *Горшков В.Г.* Физические и биологические основы устойчивости жизни. — М.: Наука, 1995. — 470 с.
22. *Грингоф И.Г., Пасечнюк А.Д.* Агрометеорология и агрометеорологические наблюдения. — СПб.: Гидрометеоиздат, 2005. — 552 с.
23. *Гулев С.К., Катцов В.М., Содомина В.М.* Глобальное потепление продолжается // Вестник РАН. — 2008. — Т. 78. — № 1. — С. 20–27.
24. *Гуляева Н.В., Костюков В.В.* Пространственно-временная изменчивость атмосферного увлажнения лесостепей Урала и Западной Сибири в вегетационный период // Метеорология и гидрология. — 2003. — № 2. — С. 97–102.
25. *Дегтярев А.И.* Муссоны в системе глобальной циркуляции атмосферы: диагностика и моделирование. — М., 2008. — 295 с.
26. *Дежкин В.В.* Природопользование. — М.: Изд-во МНЭПУ, 1997. — 87 с.
27. *Дийкстра Х.* Нелинейная физическая океанография. — М.; Ижевск: НИЦ «Регулярная и хаотическая динамика», 2007. — 680 с.
28. *Дымников В.П.* Современные проблемы моделирования отклика климатической системы на малые внешние воздействия. Проблемы гидрометеорологии и окружающей среды на пороге XXI века // Труды международной теоретической конференции. — СПб: Гидрометеоиздат, 2000. — С. 14–34.
29. *Жаков С.И.* Общие закономерности режима тепла и увлажнения на территории СССР. — Л., Гидрометеоиздат, 1982. — 230 с.

30. *Зондзе Е.К., Хомякова Т.В.* Моделирование формирования влагообеспеченности территории Европейской России в современных условиях и основы оценки агроклиматической безопасности // Метеорология и гидрология. — 2006. — № 2. — С. 98–105.
31. *Золотокрылин А.Н., Канцеловская И.В., Кренке А.Н.* Районирование территории России по степени экстремальности природных условий для жизни человека // Известия РАН. — Сер.: Геогр. — 1992. — № 6. — С. 16–30.
32. Изменения климата Беларуси и их последствия / под ред. В.Ф. Логинова. — Минск: Тонпик, 2003. — 330 с.
33. *Израэль Ю.А.* О состоянии современного климата и предложения о деятельности в области противодействия изменению климата // Метеорология и гидрология. — 2008. — № 10. — С. 5–8.
34. *Израэль Ю.А., Семенов С.М., Анисимов О.А. и др.* Четвертый оценочный доклад Межправительственной группы экспертов по изменению климата: вклад Рабочей группы II // Метеорология и гидрология. — 2007. — № 7. — С. 5–13.
35. *Ильина О.Б.* Транспортно-климатические ресурсы // Энциклопедия климатических ресурсов Российской Федерации. — СПб.: Гидрометеоиздат, 2005. — С. 111–117.
36. *Исаев А.А.* Экологическая климатология. — М.: Научный мир, 2001. — 458 с.; 2003. — 472 с.
37. *Карягин Ф.А.* Современные гидроклиматические изменения в Чувашии. — Ч.1. — Чебоксары, 2007. — 268 с.
38. Климат Казани / Под ред. Н.В. Колобова, Ц.А. Швер, Э.П. Наумова. — Л.: Гидрометеоиздат, 1990. — 187 с.
39. Климат Казани и его изменения в современный период. / под ред. Ю.П. Переведенцева, Э.П. Наумова. — Казань: Изд. Казан. ун-та, 2006. — 216 с.
40. Климат Кирова / под ред. М.О. Френкеля, Ц.А. Швер. — Л.: Гидрометеоиздат, 1982. — 215 с.
41. Климат Москвы / под ред. А.А. Дмитриева, Н.П. Бессонова. — Л.: Гидрометеоиздат, 1969. — 323 с.
42. Климат России / под ред. Н.В. Кобышевой. — СПб.: Гидрометеоиздат, 2001. — 655 с.
43. Климат Самарской области и его характеристики для климатозависимых отраслей экономики. Самара, 2006. — 168 с.
44. Климат Татарской АССР / Под ред. Н.В. Колобова. — Казань: Изд-во Казан. ун-та, 1983. — 160 с.

45. Климатические ресурсы и методы их представления для прикладных целей / под ред. К.Ш. Хайруллина. — СПб.: Гидрометеиздат, 2005. — 231 с.
46. Климатические условия и ресурсы Республики Татарстан. / Под ред. Ю.П. Переведенцева, Э.П. Наумова. — Казань: Изд. Казан. ун-та, 2008. — 288 с.
47. Климатические условия и ресурсы Республики Удмуртия. — Казань: Изд. Казан. ун-та, 2009. — 208 с.
48. Климатические условия и ресурсы Ульяновской области. — Казань: Изд. Казан. ун-та, 2008. — 208 с.
49. Климатические характеристики отопительного периода в субъектах Российской Федерации в настоящем и будущем / Н.В. Кобышева, М.В. Ключева, А.А. Александрова [и др.] // Метеорология и гидрология. — 2004. — № 8. — С. 46–52.
50. Климатология / под ред. О.А. Дроздова, Н.В. Кобышевой. — Л.: Гидрометеиздат, 1989. — 568 с.
51. Клименко В.В. О главных климатических ритмах голоцена // ДАН. — 1997. — Т. 357. — № 3. — С. 399–402.
52. Кобышева Н.В., Ильина О.Б. Методы оценки и районирования климатических ресурсов Ленинградской области // Метеорология и гидрология. — 2001. — № 9. — С. 17–24.
53. Кобышева Н.В., Священников С.П. Ресурсный подход к оценке климата // Климатические ресурсы и методы их представления для прикладных целей. — СПб.: Гидрометеиздат, 2005. — С. 3–8.
54. Кобышева Н.В., Священников С.П. Ресурсный подход к оценке климата // Климатические ресурсы и методы их представления для прикладных целей. — СПб.: Гидрометеиздат, 2005. — С. 3–8.
55. Колобов Н.В. Климат Среднего Поволжья. — Казань: Изд-во Казан. ун-та, 1968. — 252 с.
56. Кондратьев К.Я. Лучистая энергия Солнца. — Л.: Гидрометеиздат, 1954. — 600 с.
57. Кондратьев К.Я., Лосев К.С. Иллюзии и реальность стратегии устойчивого развития // Вестник РАН. — 2002. — Т. 72, № 7. — С. 592–601.
58. Кондратьев К.Я., Матвеев Л.Т. Основные факторы формирования острова тепла в большом городе // Доклады РАН. — 1999. — Т. 367. — № 2. — С. 253–256.
59. Лавров Д.Д. География Кировской области: учебное пособие. — Киров, 1990. — 157 с.

60. Лебедев А.Н., Писарева Г.Н. Климатические сезоны СССР. — Труды ГГО, 1956, вып. 62 (124). — С. 67–84.
61. Леса Кировской области. — Киров: Кировская областная типография, 2008. — 400 с.
62. Логинов В.Ф. Изменения климата Беларуси и их последствия. — Минск, 2003.
63. Малевский-Малевич С.П., Молькентин Е.К., Надеждина Е.Д. и др. Анализ изменения пожароопасной обстановки в лесах России в XX и XXI веках на основе моделирования климатических условий // Метеорология и гидрология. — 2007. — № 3. — С. 14–24.
64. Мамонтов М.В. Душная погода на территории СССР // Климатология и агрометеорология: труды Зап.-Сиб. РНИГМИ. — 1973. — № 12. — С. 28–42.
65. Матвеев Л.Т. Курс общей метеорологии. Физика атмосферы. — Л.: Гидрометеиздат, 1984. — 751 с.
66. Матвеев Л.Т. Теория общей циркуляции атмосферы и климата Земли. — Л.: Гидрометеиздат, 1974. — 568 с.
67. Матвеев Л.Т. Физика атмосферы. — СПб.: Гидрометеиздат, 2000. — 778 с.
68. Мещерская А.А., Блажевич В.Г. Каталоги температурно-влажностных характеристик с учетом площади распространения по экономическим районам основной зернопроизводящей зоны СССР. 1891–1983 гг.: справочное пособие. — Л.: Изд-во ГГО, 1980. — 330 с.
69. Мильков Ф.Н., Гвоздецкий Н.А. Физическая география СССР. Общий обзор. Европейская часть СССР. Кавказ. — М.: Высш.шк., 1986. — 376 с.
70. Михайлов В.Н. Теоретические основы прогноза реакции речных дельт на повышение уровня моря // Вестник МГУ. — Сер. 5: Геогр. — 2009. — № 3. — С. 3–10.
71. Монин А.С., Шишков Ю.А. История климата. — Л.: Гидрометеиздат, 1979. — 407 с.
72. Мохов И.И., Чернокульский А.В., Школьник И.М. Региональные модельные оценки пожароопасности при глобальных изменениях климата // ДАН. — 2006. — Т. 411. — № 6. — С. 808–811.
73. Наумов Э.П. Адольф Яковлевич Купфер. — Казань: Изд. Казан. ун-та, 2002. — 24 с.
74. Научно-прикладной справочник по климату СССР. — Сер. 3: Многолетние данные. — Л.: Гидрометеиздат, 1988. — Ч. 1–6. — Вып. 12. — 647 с.

75. Научно-прикладной справочник по климату СССР. — Сер. 3: Многолетние данные. — Л.: Гидрометеиздат, 1988. — Ч. 1 — 6. — Вып. 29. — 582 с.
76. *Нестеров В.Г.* Горимость леса и методы ее определения. — М. — Л.: Гослесбумиздат, 1949. — 76 с.
77. *Овчарова В.Ф.* Гомеокинез в погодную гипоксию и гипероксию. «Климат и здоровье человека» // Труды международного симпозиума ВМО/ВОЗ/ЮНЕП СССР. Ленинград, 22–26 сентября 1986 г. — Л.: Гидрометеиздат, 1988. — Т. 2.
78. *Отнес Р.К., Энксон Л.* Прикладной анализ временных рядов. — М.: Мир, 1982. — 428 с.
79. Оценочный доклад об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации. — М., 2008. — Т. I. Изменения климата. — 227 с.
80. Оценочный доклад об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации. — М., 2008. — Т. II. Последствия изменений климата. — 288 с.
81. *Павлова А.А.* Нормативные климатические показатели расчетных мощностей систем кондиционирования // Климатические ресурсы и методы их представления для прикладных целей. — СПб.: Гидрометеиздат, 2005. — С. 208–215.
82. *Павлова М.Р.* Практикум по агрометеорологии. — Л.: Гидрометеиздат, 1984. — 184 с.
83. *Павлова М.Р.* Практикум по агрометеорологии. — Л.: Гидрометеиздат, 1984. — 184 с.
84. *Педь Д.А.* О показателях засухи и избыточного увлажнения // Труды Гидрометцентра СССР. — 1975. — Вып. 156. — С. 19–39.
85. *Переведенцев Ю.П.* Метеорология в Казанском университете. Становление, развитие, основные достижения. — Казань: Изд-во Казан. ун-та, 2001. — 128 с.
86. *Переведенцев Ю.П.* Петр Трофимович Смоляков. — Казань: Изд. Казан. ун-та, 2002. — 16 с.
87. *Переведенцев Ю.П.* Теория климата. — Казань: Казан. гос. ун-т, 2009. — 504 с.
88. *Переведенцев Ю.П., Верещагин М.А., Наумов Э.П. и др.* Особенности проявления современного потепления климата в тропосфере Атлантико-Европейского региона // Метеорология и гидрология. — 2004. — № 2. — С. 38–47.

89. *Переведенцев Ю.П., Верещагин М.А., Наумов Э.П. и др.* Региональные проявления современного потепления климата в тропо-стратосфере Северного полушария // Известия РАН. — Сер.: Геогр. — 2005. — № 6. — С. 5–17.
90. *Переведенцев Ю.П., Верещагин М.А., Шанталинский К.М. и др.* Динамика климатических характеристик отопительного периода за последние 100 лет // Вестник ТО РЭА. — 2000. — № 1. — С. 24–28.
91. *Переведенцев Ю.П., Исмаилов Н.В., Шерстюков Б.Г. и др.* Современные изменения температурно-влажностного режима атмосферы в Республике Татарстан // Журнал экологии и промышленной безопасности. — 2007. — № 3. — С. 18–23.
92. *Переведенцев Ю.П., Наумов Э.П., Шанталинский К.М. и др.* Динамика полей температуры Северного полушария в современный период // Проблемы анализа риска. — 2007. — Т. 4. — № 1. — С. 73–82.
93. *Переведенцев Ю.П., Николаев А.А.* Климатические ресурсы солнечной радиации и ветра на территории Среднего Поволжья и возможности их использования в энергетике. — Казань: Отечество, 2002. — 120 с.
94. *Переведенцев Ю.П., Френкель М.О., Шаймарданов М.З.* / Современные изменения климатических условий и ресурсов Кировской области, 2010.
95. *Пивоварова З.И.* Прямая солнечная радиация на территории СССР // Труды ГГО. — 1963. — Вып. 139. — С. 27–41.
96. *Пивоварова З.И.* Радиационные характеристики климата СССР. — Л.: Гидрометеиздат, 1977. — 335 с.
97. *Покровская Т.В., Бычкова А.Т.* Климат Ленинграда и его окрестностей. — Л.: Гидрометеиздат, 1967. — 199 с.
98. Равнины Европейской части СССР. — М.: Наука, 1974. — 254 с.
99. Радиационный режим территории СССР / под ред. Е.П. Барашковой, В.Л. Гаевского, Л.Н. Дьяченко [и др.]. — Л.: Гидрометеиздат, 1961. — 528 с.
100. *Раковская Э.М., Давыдова М.И.* Физическая география России. — М.: Гуманит. изд. центр Владос, 2001. — Ч.1. — 288 с.
101. Результаты исследований изменений климата для стратегий устойчивого развития Российской Федерации. — Росгидромет, 2005. — 178 с.
102. *Реймерс Н.Ф.* Природопользование: словарь-справочник. — М.: Мысль, 1990. — 640 с.
103. Ресурсы поверхностных вод СССР. — Л.: Гидрометеиздат, 1973. — Т. 11: Средний Урал и Приуралье. — 848 с.

104. Руководство по специализированному климатологическому обслуживанию экономики / под ред. Н.В. Кобышевой. — СПб.: ГГО, 2008. — 334 с.
105. Ресурсы поверхностных вод СССР. Приложения. — Л.: Гидрометеиздат, 1972. — Т. 11: Средний Урал и Приуралье. — 390 с.
106. Руководящий документ. Наставление гидрометеорологическим станциям и постам. — М.: Гидрометеиздат, 2000. — Вып. 11: Агроклиматические наблюдения на станциях и постах. — Ч. 1: Основные агрометеорологические наблюдения (РД 52.33.217-99). — Кн. 1. — 347 с.
107. Руководящий документ. Наставление гидрометеорологическим станциям и постам. — М.: Гидрометеиздат, 2000. — Вып. 11: Агрометеорологические наблюдения на станциях и постах. — Ч. 1. Основные агрометеорологические наблюдения (РД 52.33.217-99). — Кн. 2. — 283 с.
108. *Русанов В.И.* Комплексные метеорологические показатели и методы оценки климата для медицинских целей. — Томск: Изд-во Томского ун-та, 1981. — 86 с.
109. *Русанов В.И.* Методика исследований климата для медицинских целей. — Томск, 1973. — 274 с.
110. *Русанов В.И.* Методика исследований климата для медицинских целей. — Томск, 1973. — 274 с.
111. *Салахова Р.Х.* К истории метеорологических исследований в Симбирске-Ульяновске/ Р.Х. Салахова. — Казань: Изд. Казан. ун-та, 2005. — 26 с.
112. *Смоляков П.Т.* Климат Татарии. — Казань: Татгосиздат, 1947. — 108 с.
113. Современные изменения климатических условий и ресурсов Кировской области. — Казань: Изд. Казан. ун-та, 2010. — 242 с.
114. Справочник агронома по сельскохозяйственной метеорологии / под ред. И.Г. Грингофа. — Л.: Гидрометеиздат, 1988. — 153 с.
115. Справочник по климату СССР. Ветер. — Л.: Гидрометеиздат, 1966. — Вып. 29. — Ч. 3. — 184 с.
116. Справочник по климату СССР. Влажность воздуха, атмосферные осадки, снежный покров. — Л.: Гидрометеиздат, 1968. — Вып. 12. — Ч. IV. — 372 с.
117. Справочник по климату СССР. Влажность воздуха, атмосферные осадки, снежный покров. — Л.: Гидрометеиздат, 1968. — Вып. 29. — Ч. IV. — 336 с.

118. Справочник по климату СССР. Влажность воздуха, атмосферные осадки, снежный покров. — Л.: Гидрометеиздат, 1968. — Вып. 9. — Ч. IV. — 372 с.
119. Справочник по климату СССР. Солнечная радиация, радиационный баланс и солнечное сияние. — Л.: Гидрометеиздат, 1966. — Вып. 12. — Ч. 1. — 76 с.
120. Справочник по климату СССР. Солнечная радиация, радиационный баланс и солнечное сияние. — Л.: Гидрометеиздат, 1966. — Вып. 29. — Ч. 1. — 60 с.
121. Справочник по климату, выпуск 12 Ветер, 1966
122. Справочник эколого-климатических характеристик г. Москвы / под ред. А.А. Исаева. — М.: Изд-во МГУ, 2003. — Т. 1. — 304 с.
123. Справочник эколого-климатических характеристик г. Москвы / под ред. А.А. Исаева. — М.: Изд-во МГУ, 2005. — Т. 2. — 410 с.
124. 150 лет Метеорологической обсерватории Казанского университета: Доклады науч. конф. — Казань, Изд-во Казан. ун-та, 1963. — 170 с.
125. *Тверской П.Н.* Курс метеорологии. Физика атмосферы. — Л.: Гидрометеиздат, 1962. — 700 с.
126. Толковый словарь по сельскохозяйственной метеорологии / под ред. И.Г. Грингофа. — СПб.: Гидрометеиздат, 2002. — 470 с.
127. *Урманова А.Г.* Изменчивость режима температуры воздуха и осадков в Татарстане // Современная география и окружающая среда: Всероссийская научная конференция. — Казань, 1996. — С.63 — 65.
128. *Френкель М.О.* Гидрометеорологическая наука Кировской области. — Киров, 1985. — 40 с.
129. *Френкель М.О.* Климат // Энциклопедия земли Вятской. — Киров, 2000. — С. 13 — 49; 166 — 175.
130. *Френкель М.О.* Межрегиональный экомониторинг Волжского бассейна. — Киров, 1997. — 180 с.
131. *Хайруллин К.Ш., Карпенко В.Н.* Биоклиматические ресурсы России // Энциклопедия климатических ресурсов Российской Федерации. — СПб.: Гидрометеиздат, 2005. — С. 25—46.
132. *Хандожко Л.А.* Экономическая метеорология. — СПб.: Гидрометеиздат, 2005. — 490 с.
133. *Хромов С.П., Мамонтова Л.И.* Метеорологический словарь. — Л.: Гидрометеиздат, 1974. — 568 с.
134. *Хромов С.П., Петросяни М.А.* Метеорология и климатология. — М.: Изд-во МГУ, 2004. — 580 с.

135. *Хрусталеv Ю.П., Андреев С.С., Андриади Ю.Г.* Биоклиматические условия Ростовской области (климат и здоровье). — Ростов н/Д: Батайское книжное изд-во, 2002. — 155 с.
136. *Чирков Ю.И.* Агрометеорология. — Л.: Гидрометеиздат, 1986. — 296 с.
137. *Шаков С.И.* Общие закономерности режима тепла и увлажнения на территории СССР. — Л.: Гидрометцентр, 1982. — 230 с.
138. *Швейнова Т.К.* Районирование территории СССР по повторяемости душных погод // Климат и город. — М.: Моск. филиал геогр. общества СССР, 1974. — С. 86–89.
139. *Шерстюков Б.Г.* Метеорологические факторы горимости леса, засушливости погоды во второй половине XX века и экстремальные условия 2002 года в Московском регионе // Труды ВНИИГМИ-МЦД. — 2003. — Вып. 171. — С. 79–88.
140. *Шерстюков Б.Г.* Региональные и сезонные закономерности изменений современного климата. — Обнинск: ГУ «ВНИИГМИ-МЦД», 2008. — 247 с.
141. *Шиловацева О.А., Романенко Ф.А.* Многолетние изменения температуры воздуха на Северо-Западном Таймыре и Нижнем Енисее в XX веке // Метеорология и гидрология. — 2005. — № 3. — С. 53–68.
142. *Школьник И.М., Мелешко В.П., Катцов В.М.* Региональная климатическая модель ГГО для территории Сибири // Метеорология и гидрология. — 2007. — № 6. — С. 5–18.
143. *Шторм Р.* Теория вероятностей. Математическая статистика. Статистический контроль качества. — М.: Мир, 1970. — 268 с.
144. Экология города Казани. — Казань: Изд. Казан. ун-та, 2005. — 312 с.
145. Экскурсии по памятникам природы г. Кирова и области. — Киров, 2006. — Ч. 1. — 75 с.
146. Энциклопедический словарь Республики Татарстан, 1999.
147. Энциклопедия климатических ресурсов Российской Федерации / под ред. Н.В. Кобышевой, К.Ш. Хайруллина. — СПб.: Гидрометеиздат, 2005. — 319 с.
148. Энциклопедия Республики Татарстан, 2002, 2005 и др.
149. *Brohan P., Kennedy J.J., Harris I. et al.* Uncertainty estimates in regional and global observed temperature changes: a new dataset from 1850 // J. Geophysical Research. — 2006. — Vol. 111.

150. Handbook of applied meteorology / ed. D.D. Houghton. — 985–1461 p.
151. *Kalnay et al.* The NCEP/NCAR 40-year reanalysis project // Bull. Amer. Meteor. Soc. — 1996. — Vol. 77. — P. 437–470.
152. *Kelly P.M., Jones P.D., Pengqun Jia.* The spatial response of the climate system to explosive volcanic eruptions // International Journal of Climatology. — 1996. — Vol. 16. — № 5. — P. 537–550.
153. *Parker D.E., Wilson H., Jones P.D. et al.* The impact of Mount Pinatubo on world-wide temperatures // International Journal of Climatology. — 1996. — Vol. 16. — № 5. — P. 487–497.
154. Climate change 2007. Synthesis Report. Summary for Policymakers. — URL: <http://www.ipcc.ch>.
155. Climate change 2007: The Physical science basis / Eds: S. Solomon, D. Qin, M. Manning et al. — Cambridge: New York: Cambridge University Press, 2007. — 996 p.

Содержание

Предисловие	4
1. Краткая история метеорологии в Среднем Поволжье	7
2. Изменения климата Земли в современный период	17
2.1. Состояние вопроса: тенденции и предполагаемые причины изменений современного климата	20
2.2. Глобальные и региональные изменения климата в XIX–XXI столетиях	35
3. Физико-географическая характеристика Среднего Поволжья	55
4. Радиационный режим	62
4.1. Продолжительность солнечного сияния	64
4.2. Составляющие радиационного баланса	70
5. Барико-циркуляционный режим атмосферы	85
5.1. Циркуляционные факторы климата	85
5.2. Атмосферное давление	87
5.3. Направление и скорость ветра	92
6. Температурный режим атмосферы	105
6.1. Средние температуры воздуха	107
6.2. Экстремальные температуры воздуха	125
6.3. Межгодовые изменения температуры воздуха	136
6.4. Заморозки и оттепели	142
7. Влажность воздуха	152
7.1. Давление водяного пара	153
7.2. Относительная влажность воздуха	164
7.3. Дефицит влажности и температура точки росы	178
7.4. Многолетняя динамика влажности воздуха	181

8. Атмосферные осадки	185
8.1. Среднее количество осадков	186
8.2. Временная изменчивость количества осадков	193
8.3. Характеристика засушливости и суровости климата	203
9. Климатические ресурсы и их оценка	205
9.1. Агроклиматические ресурсы	210
9.2. Биоклиматические ресурсы	218
9.3. Биоклиматические индексы	224
9.4. Климатические ресурсы для энергетики	234
10. Агроклиматические ресурсы тепла и влаги	239
10.1. Показатели термических условий и увлажнения вегетационного периода	239
10.2. Термические ресурсы и продолжительность вегетационного периода	241
10.3. Ресурсы влаги	245
11. Прикладные показатели климата	253
11.1. Климатическая характеристика отопительного периода	253
11.2. Показатели затрат энергии на обогрев и охлаждение зданий	257
11.3. Метеорологические условия горимости леса	262
11.4. Показатели биоклимата	270
Заключение	281
Литература	283

*Юрий Петрович Переведенцев,
Михаил Алексеевич Верецагин,
Константин Михайлович Шанталинский,
Эдуард Петрович Наумов,
Юрий Гайнетдинович Хабутдинов*

ИЗМЕНЕНИЯ КЛИМАТИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ И РЕСУРСОВ СРЕДНЕГО ПОВОЛЖЬЯ

*Учебное пособие
по региональной климатологии*

Компьютерная верстка:
В. Калинин

Дизайн обложки:
Е. Ашмарина

Фото на обложке
О.В. Ерёгина

Подписано в печать 07.10.2011. Формат 60х84 $\frac{1}{16}$.
Бумага офсетная. Печать ризографическая.
Гарнитура «Newton». Усл. печ. л. 17,2.
Тираж 500 экз. Заказ .

Издательство «Центр инновационных технологий».
420108, г. Казань, ул. Портовая, 25а.
Тел./факс: (843) 231-05-46, 231-05-61



420108, г. Казань, ул. Портовая, 25а.
Тел./факс: (843) 231-05-46, 231-05-61.
E-mail: citlogos@mail.ru
www.logos-press.ru